

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Розробка енергозберігаючої система освітлення та очищення
повітря закритих приміщень**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТЗс-41

напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	<hr/>	Вощина Є.О. (прізвище та ініціали)
Керівник	<hr/>	Белякова І.В. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<hr/>	Мовчан Л.Т. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<hr/>	Коваль В.П. (прізвище та ініціали)
Рецензент	<hr/>	Габрусев Г.В. (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Коваль В.П.

« » 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)

студенту Воцині Євгенію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка енергозберігаючої система освітлення та очищення повітря закритих приміщень

Керівник роботи Белякова Ірина Володимирівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від 04 травня 2026 року № 4/9– 213

2. Термін подання студентом роботи 12 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічна характеристики кліматичного та світлодіодного обладнання разом із параметрами наявної електромережі.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ.

2. Проектно-конструкторський розділ.

3. Розрахунковий розділ.

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Презентація з наведеними результатами роботи, порівняльні таблиці, рисунки з елементами енергозберігаючої система освітлення та очищення повітря.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТзс – 41. - Т.: ТНТУ, 2026.

Обсяг кваліфікаційної роботи становить 75 сторінок. В роботі міститься 40 рисунків, 6 таблиць, 20 літературних джерел.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: « Розробка енергозберігаючої система освітлення та очищення повітря закритих приміщень».

Метою роботи є розробка енергозберігаючої системи освітлення та очищення повітря закритих приміщень, підбір оптимального обладнання та дослідження її ефективності.

Робота полягає у створенні розумних систем освітлення та очищення повітря в закритих приміщеннях. А щоб усе працювало стабільно й безпечно, використовуються сучасні технології захисту та алгоритми моніторингу.»

Перелік ключових слів :

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, МІКРОКЛІМАТ, ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ, ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ, ЗАКРИТІ ПРИМІЩЕННЯ, ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Аналіз енергозберігаючих систем життєзабезпечення закритих приміщень	9
1.2 Використання сонячних світловодів для освітлення закритих приміщень	16
<i>1.2.1 Методи передачі світла світловодами</i>	18
<i>1.2.2 Конструкція і принцип роботи сонячних світловодів</i>	19
1.3 Забезпечення чистоти повітря в закритих приміщеннях.....	21
<i>1.3.1 Сучасні методи очищення повітря та застосування електростатичних фільтрів</i>	21
<i>1.3.2 Використання природних конвективних потоків для рециркуляції повітря</i>	23
1.4 Висновки до розділу 1	23
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	25
2.1 Характеристика об'єкту.....	25
2.2 Обґрунтування необхідності забезпечення закритих приміщень і майданчиків природним освітленням.....	28
2.3 Створення енергозберігаючої системи освітлення.....	34
<i>2.3.1 Створення комфортного світлового середовища в денний час</i>	35
<i>2.3.2 Створення енергоефективної системи компенсації нестачі природного освітлення</i>	37

	5
2.3.3 Створення системи резервного живлення на базі міні-СЕС	40
2.4 Розробка схеми автоматизації системи управління мікрокліматом та освітленням тенісного центру	45
2.4.1 Опис основного обладнання системи	47
2.4.2 Алгоритм роботи системи	52
2.4.3 Система очищення повітря закритих приміщень центру	53
2.5 Висновки до розділу 2	56
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	57
3.1 Вимоги до забезпечення нормованої освітленості приміщень	57
3.2 Методи забезпечення коефіцієнта природної освітленості приміщень	58
3.3 Природна інсоляція як чинник енергоефективності та оптимізації життєвого середовища	62
3.4 Висновки до розділу 3	65
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	66
4.1 Заходи щодо охорони праці в умовах комбінованого освітлення приміщень	66
4.2 Правила техніки безпеки при експлуатації систем очищення повітря та аспірації	67
4.3 Пожежна небезпека	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	74

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність теми дослідження визначається потребою у вирішенні практично важливого завдання, пов'язаного з підвищенням ефективності функціонування сучасних будівель і споруд. Досягнення таких результатів можливе завдяки впровадженню новітніх технічних рішень, орієнтованих на енергоефективність та раціональне використання ресурсів.

У сучасному світі технічні засоби стали невід'ємним елементом повсякденного життя людини. Їх кількість, складність і сфери застосування постійно розширюються

Постійне зростання енергоспоживання актуалізує проблему впровадження технологій, спрямованих на її економне використання. Традиційна енергетика, що базується на роботі теплових електростанцій і теплоелектроцентралей, які використовують тверде, рідке або газоподібне паливо, дедалі частіше розглядається як недостатньо перспективна. Газ, нафта й вугілля належать до вичерпних джерел енергії, тому з часом обсяги їх видобутку можуть значно скоротитися через поступове виснаження родовищ.

За таких умов ключовим вектором модернізації енергетичного сектору є поступова відмова від залежності від викопного палива та перехід до екологічних технологій. Інженерні рішення для генерації вітрової та геліоенергії зараз переживають етап активного розвитку та модернізації. Сонячні й вітрові електростанції створюють значні можливості для зменшення енергетичної залежності від традиційних ресурсів і посилення енергетичної автономності. Подальший розвиток енергетичного сектору може призвести до того, що альтернативні джерела вироблятимуть більше електрики, ніж усі види викопного палива.

Сучасні технології дозволяють створювати енергоощадні пристрої та інженерні системи, зокрема системи штучного освітлення, вентиляції й кондиціонування. Особливо важливими чинниками внутрішнього середовища є якість повітря та рівень освітленості, оскільки вони безпосередньо впливають на самопочуття, здоров'я та працездатність людей. Недостатній повітрообмін

може призводити до накопичення пилу, мікроорганізмів та інших шкідливих частинок, що підвищує ризик поширення інфекцій у приміщеннях. Низький рівень освітлення, що, відповідно, призводить до погіршення роботи зорового апарату може порушувати природні біологічні ритми людини.

Вагома частка загального енергоспоживання будівель припадає саме на інженерні системи, які відповідають за вентиляцію, кондиціонування та освітлення. Зокрема, системи вентиляції й кондиціонування можуть використовувати близько 42,17% електроенергії будівлі, тоді як на освітлення припадає приблизно 12,6%. Крім безпосередніх витрат на електроенергію, Подібні пристрої мають проходити планове обслуговування та очистку, заміну фільтрів, ламп та інших складових елементів. Безперервна робота таких систем без належної оптимізації прискорює їх зношування, підвищує ймовірність несправностей і збільшує витрати на ремонт.

Отже, використання застарілих або недостатньо ефективних інженерних рішень у сфері освітлення та підтримання зумовлює серйозне навантаження на бюджет упродовж усього часу використання споруди. Цей грошовий складник охоплює не лише оплату спожитої електроенергії, а й регулярне обслуговування, ремонт і заміну окремих компонентів інженерних систем.

Кліматичні особливості України створюють найкращі передумови для продуктивного використання денного світла в будівлях протягом значної частини року. Водночас застосування сучасних енергоефективних технологій очищення й фільтрації повітря здатне підвищити ефективність роботи вентиляційних систем. Комплексна модернізація двох ключових напрямів – освітлення та повітрообміну – може забезпечити суттєве зменшення енергоспоживання будівель.

У межах цієї роботи розглядається проект комплексної системи освітлення та керування мікрокліматом у закритих приміщеннях. Запропоновані технічні рішення базуються на новаторських ідеях і фокусуються на окресленні практичної та економічної доцільності їх впровадження.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та переліку посилань.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз енергозберігаючих систем життєзабезпечення закритих приміщень

Глобальна конкуренція на ринку енергоресурсів та нестабільні кліматичні умови зумовлюють те, що сфера енергозбереження стає найважливішим вектором розвитку економіки країни та підвищення її конкурентоспроможності на світовому ринку. Більшість класичних паливно-енергетичних копалин, що видобуваються (вугілля, нафта, газ), витрачається на теплових електростанціях для вироблення електроенергії, значна частина якої йде на постачання та функціонування інженерних систем (опалення, вентиляція, кондиціонування, освітлення) будівель, споруд житлового фонду та повсякденного користування [1].

Нині перед кожним власником будівлі чи приміщення гостро постає питання про забезпечення енергоефективності квартир, офісів або виробничих площ. Досвід зарубіжних проєктних, будівельних та експлуатаційних компаній продемонстрував основні напрямки в будівництві щодо застосування енергоефективних технічних рішень [2]. Скорочення споживання електроенергії та, як наслідок, економічних витрат на постачання опалення, вентиляції і кондиціонування можна досягти за рахунок таких перевірених способів:

- Застосування регульованої запірної арматури та систем, що дозволяють обмежити надлишкове споживання енергії (теплової або електричної) в приміщенні (наприклад, регулювання температури на радіаторах опалення, автоматичне відключення непотрібного електричного навантаження).
- Застосування систем модернізації простору в будівлі (поділ великих приміщень на малі за допомогою фальш-перегородок), що дозволяє зменшити площу приміщень, які опалюються та потребують електропостачання.
- Врахування під час будівництва розташування навколишніх споруд,

архітектурних форм, напрямку падіння тіней та траєкторії руху сонця протягом дня для розрахунку оптимального розташування віконних отворів, що дозволяє економити електроенергію, яка витрачається на освітлення в будівлі вдень.

- Застосування сучасних енергоефективних систем для повітрообміну в приміщеннях та освітлення (зенітні ліхтарі, сонячні світловоди).

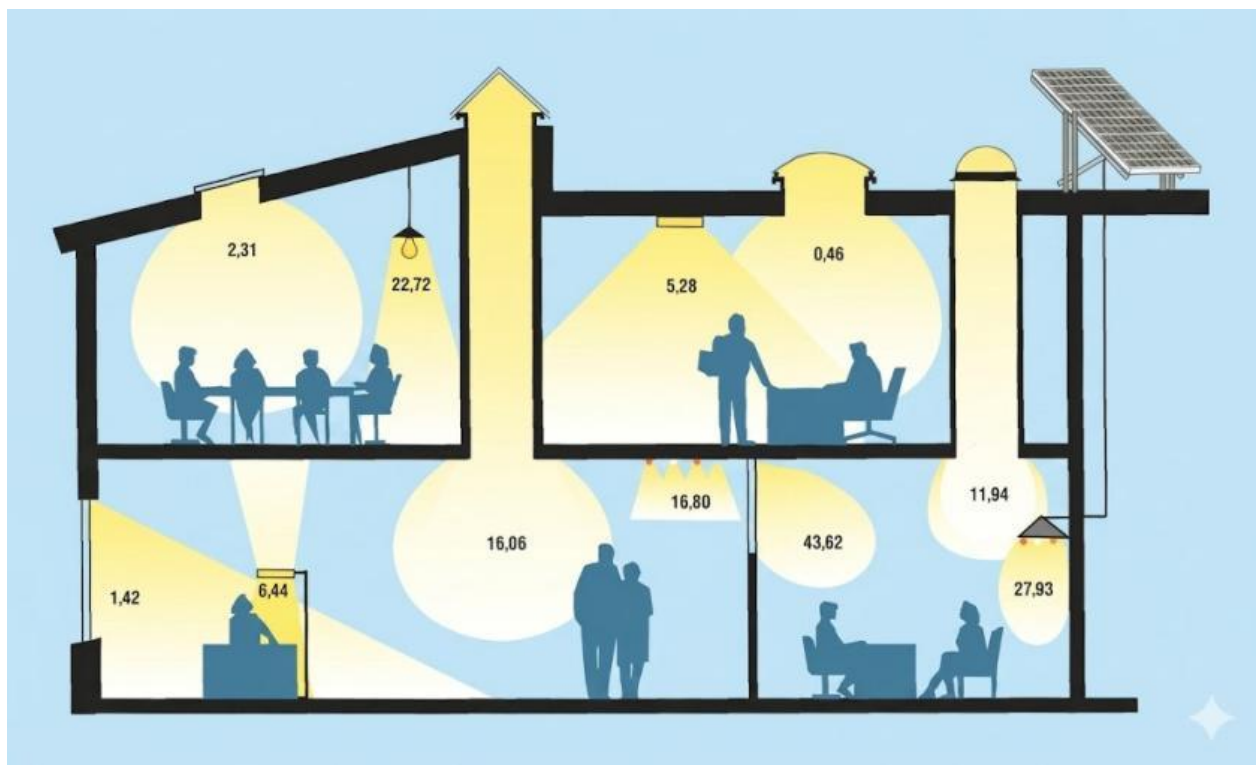


Рисунок 1.1 – Ефективність різних систем штучного та природного світла

Документом, у якому відображено основні вектори розвитку в енергетичній сфері України, є Закон України «Про енергетичну ефективність» [3]. Окрім цього закону, діє та вдосконалюється низка інших нормативно-правових документів (ДБН, ДСТУ тощо).

При проектуванні систем електропостачання, електроосвітлення та повітрообміну будівель і приміщень фахівці керуються чинними нормативно-правовими документами (ДСТУ, ДБН, законами України тощо). На даний момент основним чинним нормативно-правовим документом у галузі розроблення та проектування систем освітлення є ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [4]. Цей документ регламентує застосування найбільш ефективних джерел світла під час проектування будівель і споруд

різного призначення. У ньому також вказані основні норми необхідної освітленості в приміщеннях і на робочих поверхнях (лк), а також вимоги до коефіцієнта природного освітлення (КПО) приміщень.

Основним керівним документом у галузі стандартизації мікроклімату приміщень житлових та громадських будівель є ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» (або ДСТУ EN 15251) [5]. Цей нормативно-правовий документ регламентує основні показники температури, вологості та якості повітря.

Другим ключовим документом у галузі повітрообміну будівлі є санітарні норми щодо гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин. Вони регламентуються Державними санітарними правилами, що визначають розрахунки виділення у повітря внутрішнього середовища приміщень хімічних речовин з урахуванням спільного використання будівельних матеріалів на об'єктах капітального будівництва [6].

Згідно з аналізом наукових публікацій та досліджень у сфері електропостачання, на системи освітлення будівель житлового фонду у вітчизняній практиці припадає близько 15% спожитої електроенергії [7]. Для порівняння: у країнах Європи, таких як Німеччина та Франція, цей показник становить близько 12%, у США – близько 10%, в Індії – 9% [7].

З погляду кількості споживаної потужності (у кВт·год) на електроосвітлення одного домогосподарства, у Німеччині на рік витрачається близько 280 кВт·год, у Франції – 400 кВт·год, у США – 1550 кВт·год, у країнах Східної Європи – близько 340 кВт·год [8]. Аналіз кількості освітлювальних приладів показує, що середня потужність джерела світла в США становить 46 Вт, тоді як у вітчизняному житловому фонді – близько 49 Вт. Середня кількість ламп становить 11 шт. на одне домогосподарство порівняно з 33 шт. у США [8].

Такі відмінності зумовлені тим, що площа житлового фонду в країнах Європейського Союзу, Східної Європи та США значно різниться. На вітчизняному ринку переважає багатоквартирна забудова, тоді як у США та

багатьох країнах Європи поширеніше приватне будівництво (котеджі, таунхауси). З огляду на ці показники, кількість ламп на 1 м² житлової площі у вітчизняних реаліях становить близько 0,16 шт., тоді як у США цей показник майже вдвічі більший – 0,29 шт. Це впливає на обсяг споживання електроенергії освітленням у розрахунку на 1 м²: у країнах Східної Європи – 5,4 кВт·год/м², у Китаї – 4,5 кВт·год/м², у США – 9,7 кВт·год/м² [8]. Найнижчий показник наразі зафіксовано в Данії – 3,3 кВт·год/м² [8].

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики систем штучного освітлення

	Одиниці вимір.	Система освітлення			
		ЛР	ЛЛС 1	ЛЛС 2	СДС
Потужність	Вт	50	54	70	1
Термін служби світильників	год.	20			
Капітальні витрати, включаючи витрати на встановлення	€	80	163	540	-
Термін служби ДС	год.	1500	15000	15000	50000
Вартість ДС	€	3,5	34,5	39,6	6
Світловий потік світильника	лм	750	4200	6000	50
Коефіцієнт використання		0,9	0,5		
Світловий потік, що падає на робочу поверхню	лм	675	2100	3000	25
Число годин роботи ОУ в рік	год.	3000			
Вартість електроенергії	€/кВт·год.	0,1			
Вартість обслуговування	€/рік	40			
Термін обслуговування	років	0,25			
Число замін ДС за 50 років		100	10	10	3
Вартість замін ДС за 50 років		350	345	396	18
В-сть обслуговування за 50 років		1000	100	100	30
Вартість заміни світильників	€	200	407,5	1350	0
Сумарні витрати (за 50 років)		1550	852,5	1846	48
Вартість електроенергії		750	810	1050	15
Експлуатаційні витрати		2300	1662,5	2896,0	63,0
Річні амортизаційні і експлуатаційні витрати	€/рік	46,00	33,25	57,92	1,26
Річна світлова енергія	Млм·год.	2,03	6,30	9,00	0,08
Річна потужність	Вт/ Млм·год	24,69	8,57	7,78	13,33
Річні витрати на освітлення	€/Млм·год	22,72	5,28	6,44	16,80

Ці показники можуть відрізнятися через відмінності видів освітлювальних приладів на ринку. Наприклад, сучасний світлодіодний світильник споживає в кілька разів менше електроенергії, ніж лампа розжарювання. Часто до статистики потрапляють старі домогосподарства без сучасних джерел освітлення. Світлодіодні світильники довели свою перевагу над іншими джерелами світла завдяки низькому споживанню електроенергії, низькому виділенню тепла та довговічності. Останніми роками їх активно застосовують у вітчизняній будівельній практиці [9].

Не менш важливим споживачем електроенергії є системи повітрообміну (припливно-витяжні системи, системи димовидалення та кондиціонування). У відсотковому співвідношенні, виходячи з досвіду проектування будівель різного призначення, витрати електроенергії на системи повітрообміну (зовнішні та внутрішні блоки кондиціонування, теплові завіси, чилери, припливні й витяжні установки) сягають 50 –70% від сумарного споживання електроенергії [10].

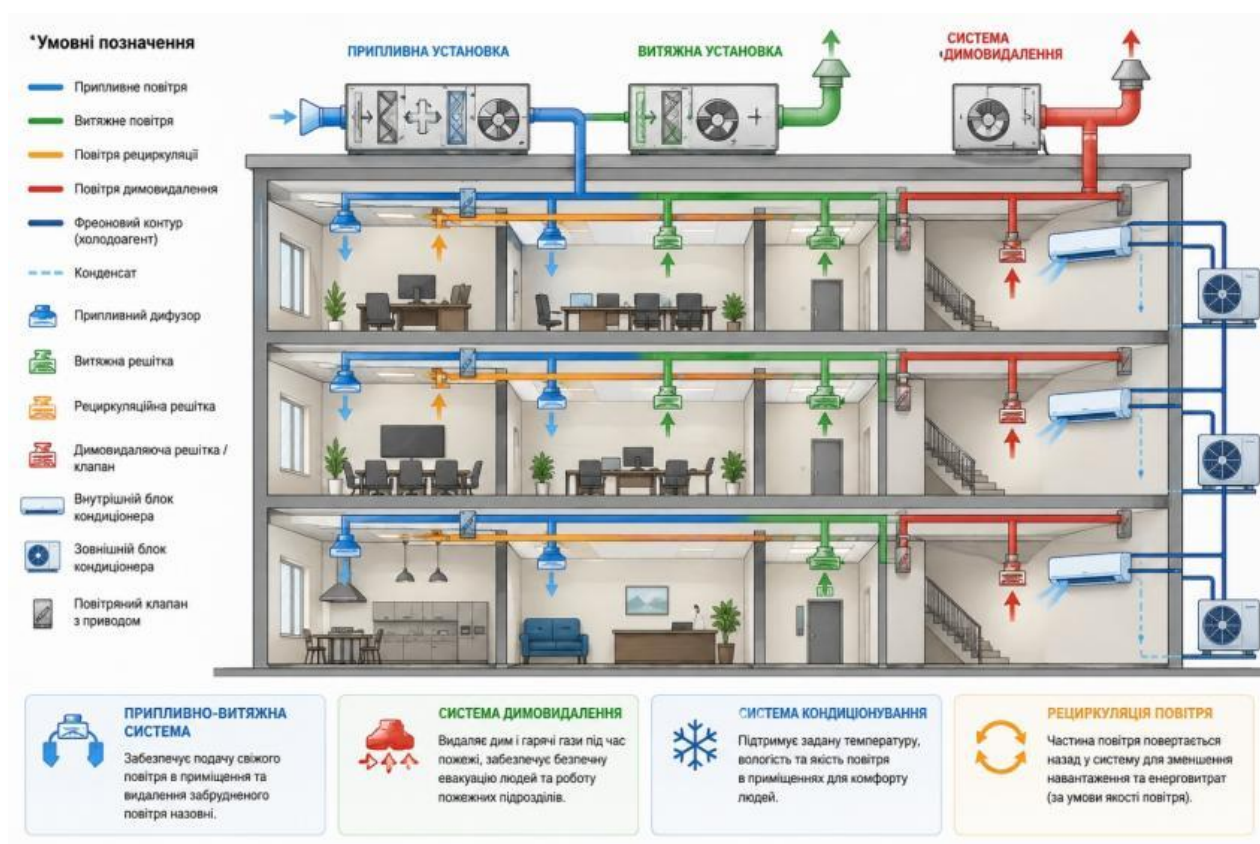


Рисунок 1.2 – Робота припливно - витяжних систем, систем димовиве -

димовиведення та кондиціонування

Найбільш енергоємними є системи кондиціонування повітря.

Ефективність систем вентиляції повітря



Рисунок 1.3 – Графік ефективності систем вентиляції повітря

Поширення цих систем насамперед залежить від територіального розташування будівлі. Значна частина території України розташована в помірному кліматичному поясі, де влітку переважає спекотна погода. На 100 вітчизняних домогосподарств припадає близько 12 кондиціонерів. Для порівняння: в Італії кондиціонери обладнані близько 33% домогосподарств, а найвищий показник у Греції – 98% [10]. У літній період на системи кондиціонування та повітрообміну приміщень витрачається значний обсяг електроенергії. Незважаючи на це, відбувається активний розвиток технологій, і за останні 10 років цей показник питомого споживання було збільшено в 1,4 раза [10].

Проте в сучасному побуті з'явилася нова вимога до рівня чистоти повітря

(очищення від мікрочастинок, бактерій і мікробів). Класичні припливно-витяжні системи та системи кондиціонування не завжди справляються із цим завданням, тому набувають популярності електростатичні фільтри та очищувачі повітря. Ці системи є новими споживачами в мережах електропостачання домогосподарств. На вітчизняному ринку системи забезпечення чистоти повітря розвинені ще не так активно через їхню новизну та високу вартість [11].

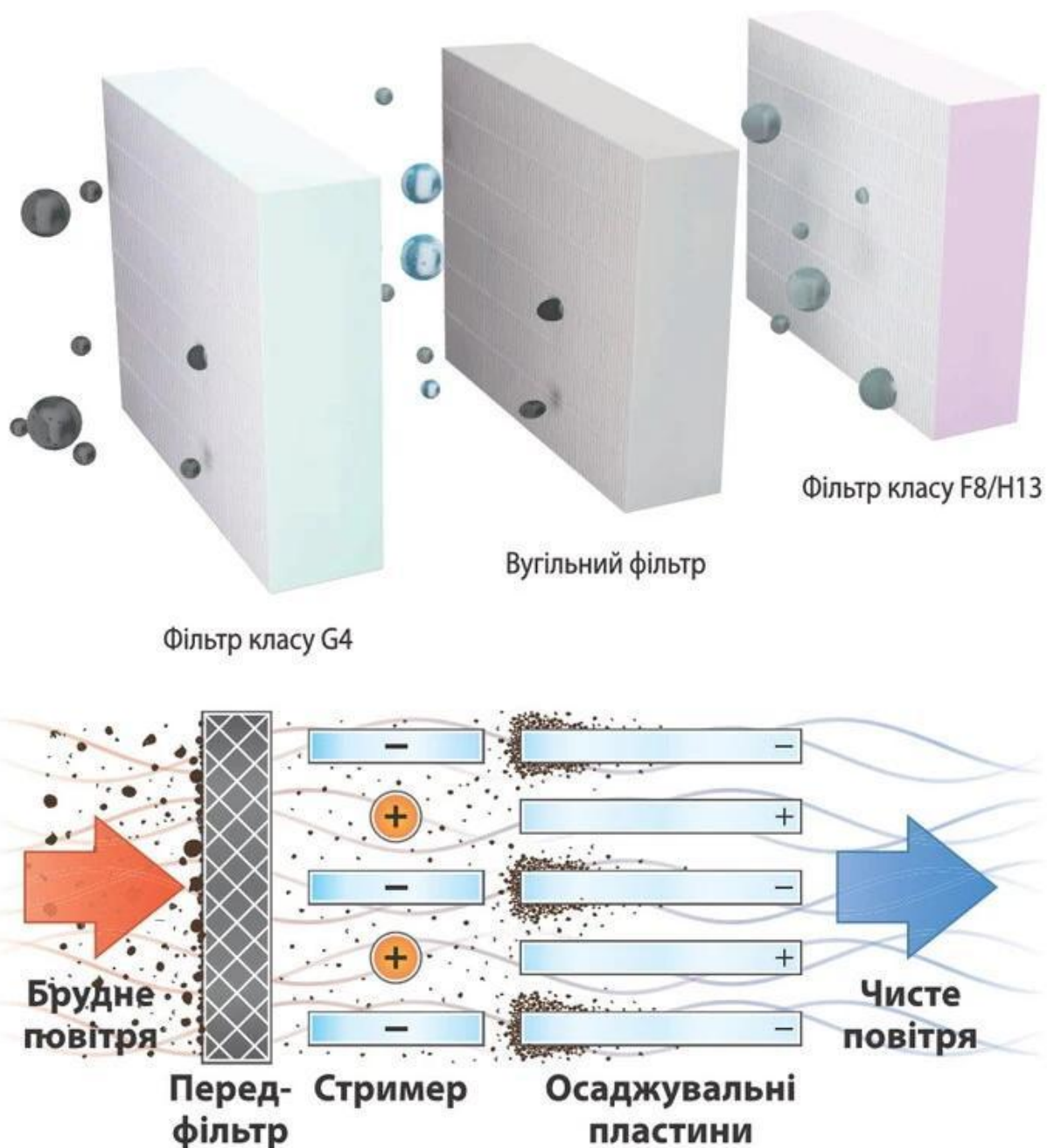


Рисунок 1.4 – Принцип роботи електростатичного фільтру

У середньому такі установки споживають менше енергії, ніж звичайні вентиляційні установки загальнообмінної системи (близько 0,05 – 0,1 кВт·год), але за наявності великої кількості приміщень та тривалого часу роботи річне споживання становить близько 292 кВт·год, що тягне за собою додаткові фінансові витрати [11].

Повністю відмовитися від класичних систем повітрообміну не вдасться, оскільки зазначене обладнання спрямоване виключно на поліпшення мікроклімату та мікрофлори всередині приміщень для покращення умов життєдіяльності людини.

1.2 Використання сонячних світловодів для освітлення закритих приміщень

Сучасне проектування та будівництво на практиці демонструють тенденцію до застосування технічних рішень на базі систем природного освітлення. Це пов'язано як із впливом світла на працездатність людини, так і зі зменшенням витрат на електроосвітлення. Інноваційною технологією для доступу природного світла у віддалені замкнені простори будівлі є сонячні світловоди (Рисунок 1.5) [12].



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд сонячного світловоду

Ця технологія вже випробувана і набула поширення в низці країн Європи та Північної Америки [12]. Система сонячних світловодів є ефективною: окрім природного освітлення, вона забезпечує необхідні показники звукоізоляції та мінімізації тепломеханічних втрат, а також має переваги перед традиційними системами природного освітлення.

Система є зручною в монтажі та не потребує значних витрат на обслуговування. Сонячні світловоди можна змонтувати на будівлях будь-яого типу. Завдяки гнучкості світловодної труби природне світло можна підвести в будь-яку точку будівлі, навіть у приміщення з великою щільністю повітроводів і трубопроводів інженерних систем [12]. Відповідно до будівельних норм, світловод природного світла – це пристрій для пропускання природного світла всередину будівлі через прямолінійну або непрямолінійну світлопровідну шахту (канал) [4].

1.2.1 Методи передачі світла світловодами

Потік енергії сонячного випромінювання більш ніж у 10 000 разів перевищує середній темп споживання енергії людством [13]. Внесок Сонця в енергетичний баланс Землі значно перевищує сумарні показники інших джерел енергії разом узятих. Історично концентратори світла застосовувалися для добування вогню або швидкого нагрівання води (Рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Застосування сонячного концентратора для підпалювання деревини

У сучасному інженерному проєктуванні концентрація сонячної енергії отримала нове застосування – освітлення закритих приміщень, що дозволяє суттєво знизити витрати електроенергії [14].

Технологія передачі природного світла у приміщення – це сукупність високотехнологічних світлотехнічних елементів, що концентрують денне світло, передають його на відстань до 20 метрів без втрат і рівномірно розсіюють у внутрішніх приміщеннях будівлі [14]. Ці системи мають властивості оптичних фільтрів: вони передають у приміщення тільки видимої складової природного світла (без ультрафіолетового та інфрачервоного спектрів), мінімізуючи при цьому втрати теплової енергії. Завдяки цьому зменшуються витрати електроенергії на освітлення та кондиціонування приміщень.

1.2.2 Конструкція і принцип роботи сонячних світловодів

Світловоди працюють за таким принципом: світло від сонця з будь-якої точки небосхилу протягом світлового дня потрапляє на купол світловода, розташований на покрівлі будівлі. Воно акумулюється у верхній сферичній частині за допомогою лінз, після чого через систему відбивальних поверхонь подається вниз. У приміщенні встановлюється розсіювач, який забезпечує максимальну площу освітлення [14].

Згідно з дослідженнями, основні втрати в системі сонячних світловодів становлять від 10% до 40% на кожному метрі труби і до 40% на вигинах [15]. Класичний варіант світлового тунелю складається з купола, покрівельної частини, відбивальної труби, розсіювача та додаткових деталей (кутові адаптери, лампи для нічного освітлення тощо). Зовнішні частини ліхтарів виготовляються з високоміцних і довговічних матеріалів – полікарбонату, оргскла тощо. Найбільший збір світлових хвиль відбувається в похмуру погоду, а також у вечірній і ранковий час [15].



Рисунок 1.7 – Будова сонячного світловоду

Ключовим елементом технології передачі природного світла є концентратор заломлення – оптична лінза. Оптичні лінзи поділяються на збиральні та розсіювальні. За конструктивними особливостями вони класифікуються на двоопуклі, плоско-опуклі, увігнуто-опуклі збиральні лінзи та двоввігнуті розсіювальні лінзи (Рисунок 1.8) [16].

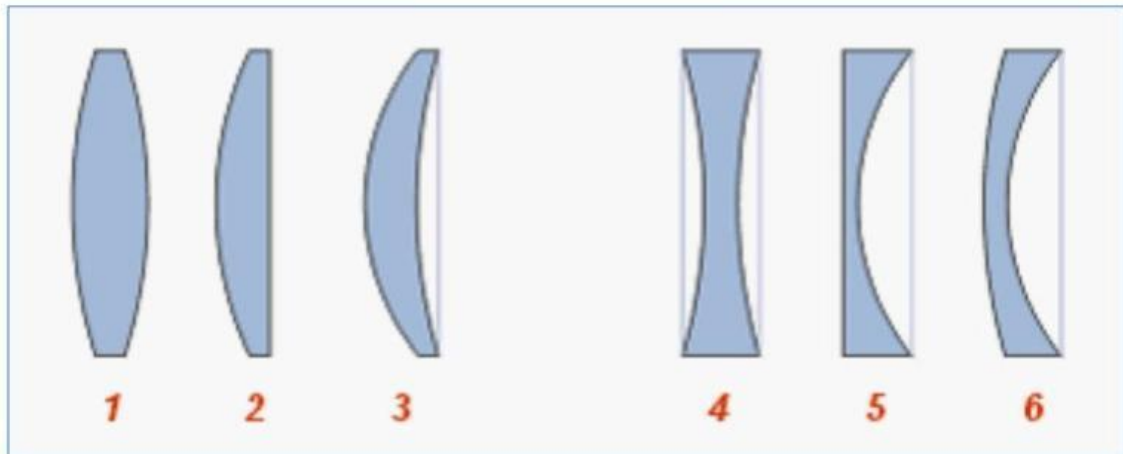


Рисунок 1.8 – Види лінз

Збираючі: 1 – двоопукла; 2 – плоско - опукла; 3 – увігнуто - випукла,
Розсіювальні: 4 – двовігнута; 5 – плоско - увігнута; 6 – увігнуто опукла.

1.3 Забезпечення чистоти повітря в закритих приміщеннях

Життєдіяльність людини в повсякденному житті залежить від якості повітря, яка зумовлена концентрацією в ньому дрібних частинок, бактерій і вірусів. Будівлі громадського призначення (наприклад, спортивні комплекси) не є винятком: під час експлуатації та роботи системи повітрообміну відбувається проникнення забруднень різного типу. Кількість забруднень у повітрі в реаліях великих промислових центрів при закритих вікнах може варіюватися від 20% до 80%, а при відкритих вікнах повністю дорівнює вуличному рівню забруднення [17].

1.3.1 Сучасні методи очищення повітря та застосування електростатичних фільтрів

Основними способами очищення повітря є часте сухе та вологе прибирання, а також використання фільтрів у системах загальнообмінної вентиляції. Доцільним є очищення повітря в режимі внутрішньої рециркуляції за допомогою побутових очищувачів повітря (фільтрів). Ступінь очищення

повітря в таких апаратах може досягати 99% [17]. Крім того, таке очищення дозволяє скоротити втрати тепла, що приводить до економії енергії.

Ефективне очищення повітря забезпечується електрофільтрами, у яких уловлюються дисперсні частинки в діапазоні 0,10 – 10 мкм [18]. Істотним недоліком класичних фільтрів є ризик зниження ефективності очищення та рівня електробезпеки в результаті пробією міжелектродного проміжку. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано конструкцію електростатичного фільтра (ЕСФ), де відсутня зона штучного заряджання частинок, а замість металевих осаджувальних пластин використовуються діелектричні, що дозволяє збільшувати напруженість поля міжелектродного проміжку безпечно для користувачів [19].

На відміну від стандартних фільтрів, де процес очищення повітря супроводжується великими енергетичними витратами на роботу вентиляторів, в ЕСФ ефективна робота може відбуватися і на невеликих швидкостях повітряного потоку.

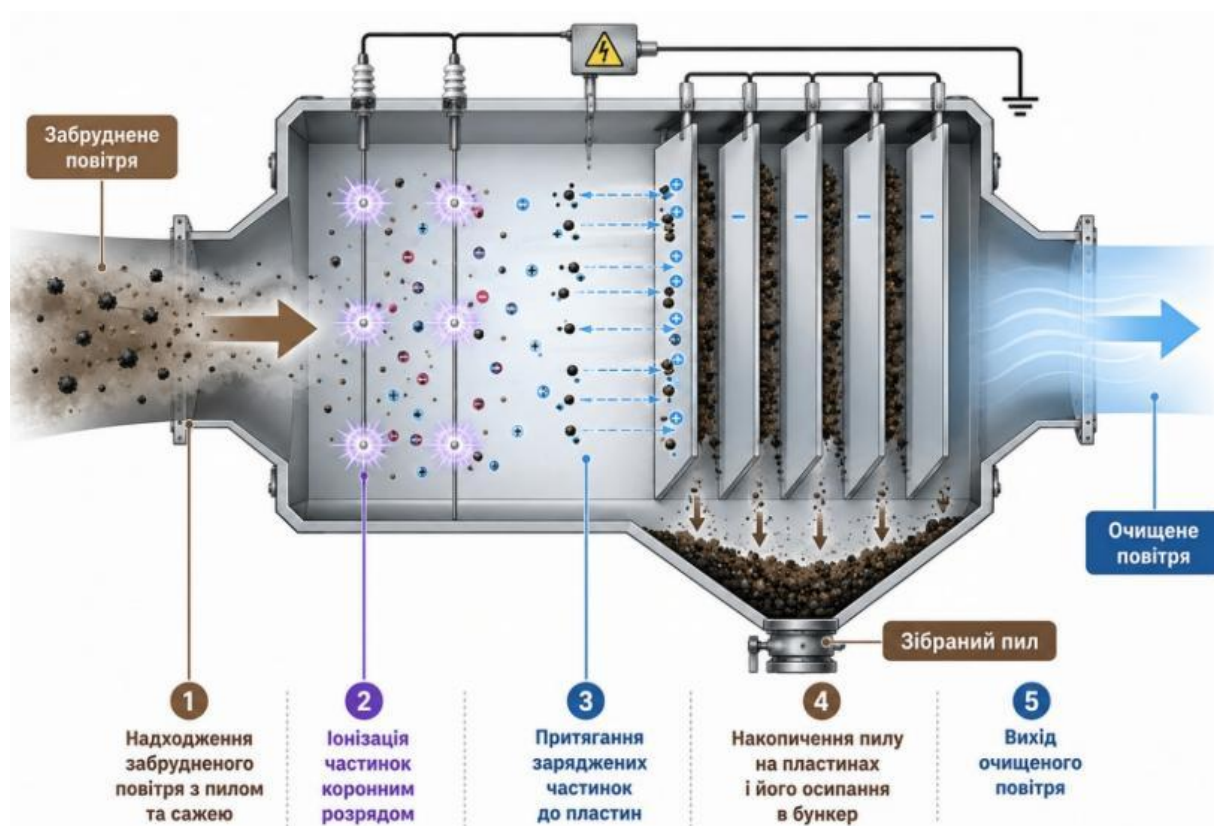


Рисунок 1.9 – Схема роботи електростатичного фільтру

Використання природних теплових потоків, які утворюються від наявного електроустаткування та обігрівальних систем, дозволяє забезпечити чистоту повітря в приміщеннях за мінімальних витрат енергії [19].

1.3.2 Використання природних конвективних потоків для рециркуляції повітря

Повітря приміщень перебуває в безперервному русі, який створюється джерелами тепла (радіатори опалення, лампи, побутова техніка) та стоками повітря [20]. Над тепловими джерелами виникають висхідні конвективні потоки нагрітого повітря, які накопичуються у верхній частині приміщення. Конвективні потоки від джерел мають швидкість 0,2 – 0,8 м/с, що свідчить про наявність кінетичної енергії в тепловому потоці, яку доцільно використовувати для очищення повітря приміщення в режимі рециркуляції [20].

Форма теплового джерела визначає вид конвективного потоку (компактний, лінійний тощо). У разі розміщення джерела тепла поруч зі стіною, створюваний ним конвективний потік стелитиметься по ній (настильні або напівобмежені потоки) [20]. Усі види конвективних потоків не тільки переносять тепло від джерел, але й переміщують дрібнодисперсний пил, що скупчився у приміщенні. За допомогою конвективних потоків здійснюється і перенесення легких іонів від джерела іонізації, якщо таке встановлено у приміщенні [20].

1.4 Висновки до розділу 1

1. Розглянуто основні науково-технічні напрями та інженерні рішення у сфері енергозбереження для забезпечення мікроклімату та штучного освітлення будівель, а також проаналізовано чинну нормативно-правову базу України, зокрема Закон України «Про енергетичну ефективність», ДБН В.2.5-28:2018 та ДБН В.2.5-67:2013.

2. Проаналізовано структуру та питомі обсяги споживання електроенергії системами електроосвітлення та очищення повітря у вітчизняному та світовому житлових фондах, що підтвердило суттєвий потенціал оптимізації витрат завдяки активному впровадженню світловодних приладів та новітніх фільтраційних установок.

3. Обґрунтовано доцільність інтеграції інноваційних сонячних світловодів із концентраторами заломлення (оптичними лінзами) для транспортування природного світла в глибокі й підземні зони об'єктів без додаткового споживання електричної енергії мережі.

4. Досліджено процеси формування конвективних теплових потоків від побутових джерел та обігрівальних систем і визначено можливість використання їхньої природної кінетичної енергії для безвентиляторного очищення повітря за допомогою сучасних електростатичних фільтрів.

2 ПРОЕКТНО – КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

Для обґрунтування ефективності запропонованої в роботі енергозберігаючої система освітлення та очищення повітря закритих приміщень та для моделювання будівлю сучасного центру тенісу з типовою функціональною структурою спортивно - громадської будівлі яка знаходиться в парку Перемоги у місті Києві.

2.1 Характеристика об'єкту

Загальна площа будівлі не більше 15 000 м².

В об'ємі будівлі знаходяться наступні функціональні зони:

1. Суспільна зона: вестибюль, рецепція, гардероб, заклад громадського харчування, спортивний магазин.

2. Спортивний блок: 7 кортів і 1 універсальний майданчик, спеціалізований тренажерний зал, зал сквошу на 6 кортів, універсальний спортивний зал, роздягальні, тренерські, інвентарні;

3. Медичний блок: кабінет лікаря, процедурний кабінет, 3 масажні кабінети;

4. Адміністративний блок: службові технічні приміщення;

5. Санітарно-побутові приміщення.

Основні плани і фасади будівлі представлені на рисунках 2.1 – 2.4.

На рисунку. 2.1 наведено загальний вигляд спортивно - громадської будівлі.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд спортивно - громадської будівлі

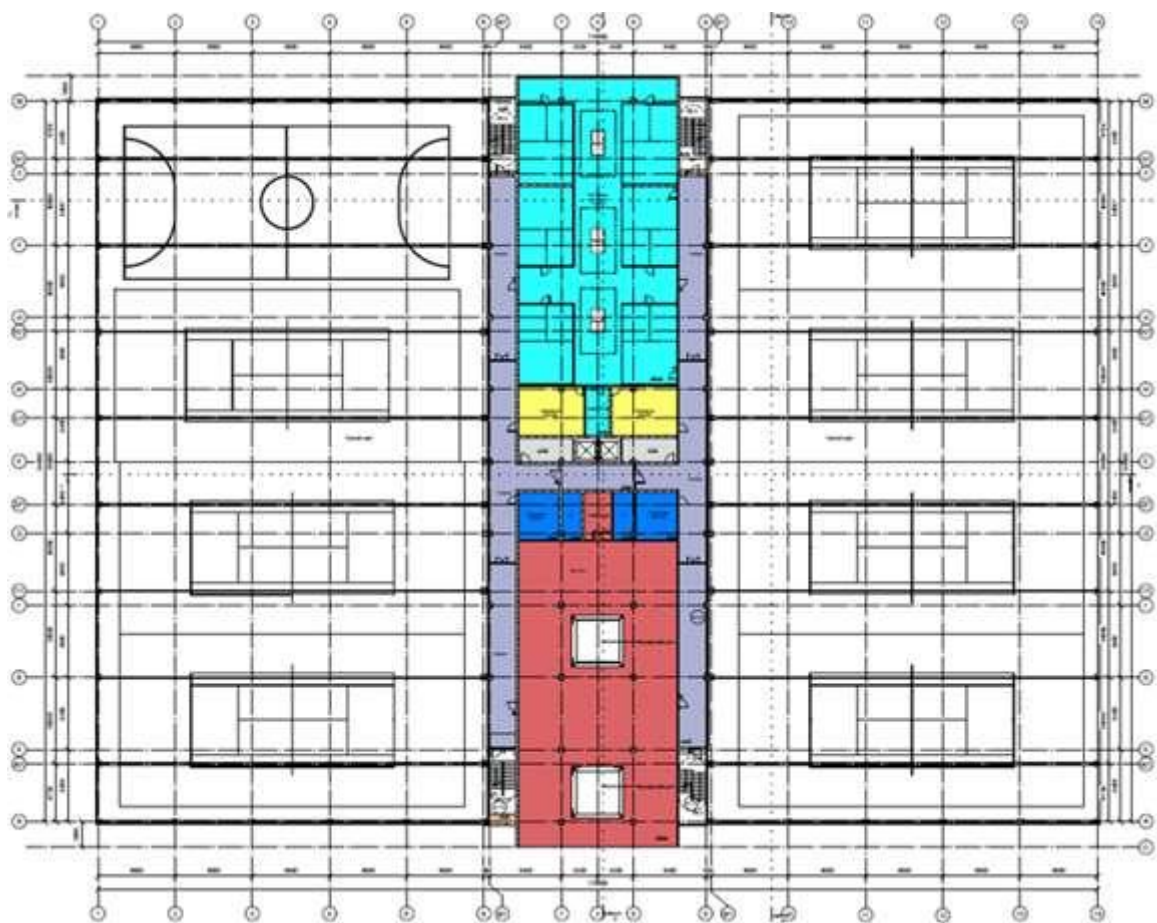


Рисунок 2.2 – План першого поверху

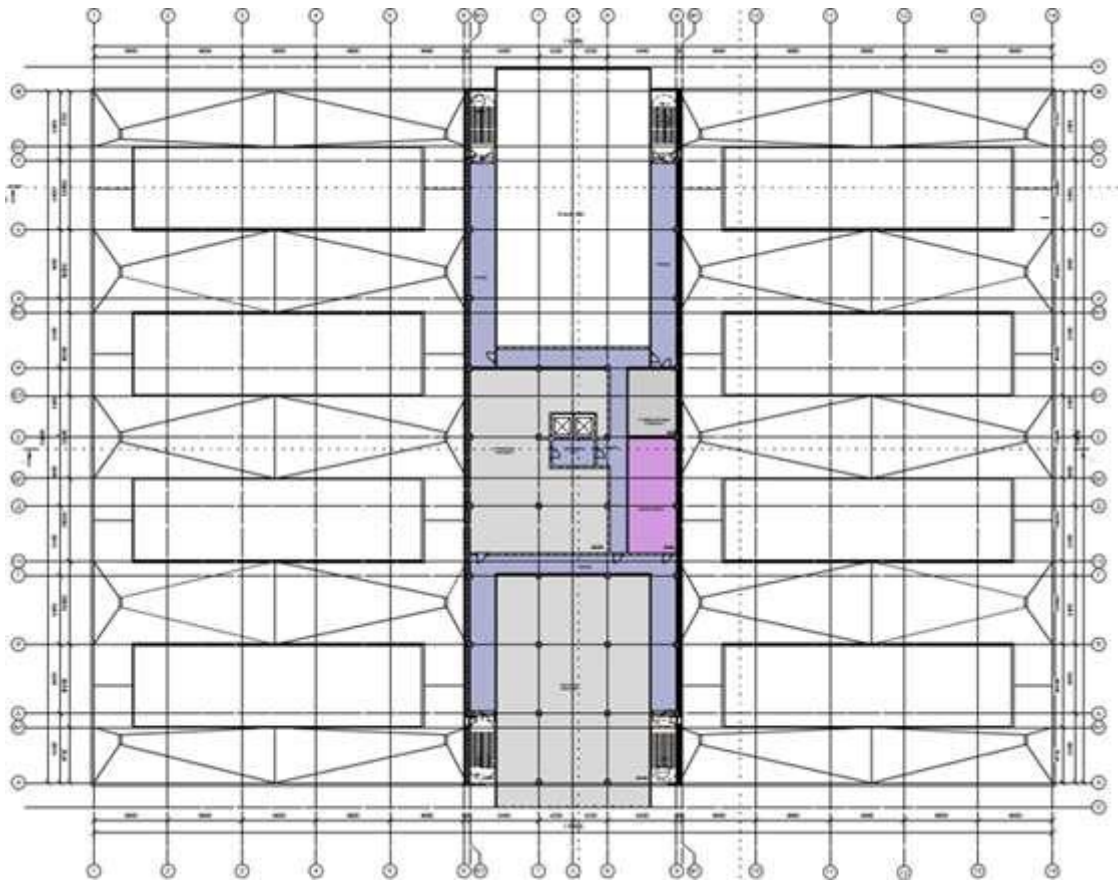


Рисунок 2.3 – План покрівлі кортів



Рисунок 2.4 – Розріз будівлі

2.2 Обґрунтування необхідності забезпечення закритих приміщень і майданчиків природним освітленням

Об'єкт будівлі центру тенісу був узятий за основу через свою сучасність і необхідність застосування даних систем, так як має велику кількість просторів з малим ступенем природного освітлення, і великим кількістю світильників, що вимагає великих витрат на електропостачання освітлення.

На початковому етапі проведено аналіз приміщень центру за поповерховими експлікаціями. На основі нормативних показників освітлення сформовано вимоги до природного, штучного та суміщеного освітлення.

Вказані всі найменування приміщень по поверхам, вимоги до забезпечення природного освітлення КПО %, рівень освітленості робочих поверхонь при штучному і комбінованому освітленні у приміщеннях «Центру Тенісу» наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Нормативні показники освітлення основних приміщень

№ пп	Найменування	Середня освітленість робочих поверхонь, лк		Природне освітлення КПО, %		Поєднане освітлення КПО, %	
		при комбін. освіт.	при загальн. освіт.	при верхньому або комбінов. освіт.	при боковому освіт.	при верхньому або комб. освіт.	при боковому освіт.
Технічні приміщення							
0.1	Насосна	-	200	-	-	-	-
0.2	ГПП	-	200	-	-	-	-
0.3	Електрощитова	-	200	-	-	-	-
0.4	Коридор	-	100	-	-	-	-
0.5	Сходова клітина	-	100	-	-	-	-
1 поверх							
1.1	Роздягальня жінки. 60	-	300	-	-	-	-
1.2	Роздягальня чоловік. 60	-	300	-	-	-	-
1.3	Роздягальня дит. дівчатка 20 чол.	-	300	-	-	-	-
1.4	Роздягальня дит. хлопчики 20 чол.	-	300	-	-	-	-
1.5	Серверна	-	200	-	-	-	-
1.6	Приміщення охорони	-	200	3,0	1,0	1,8	0,6
1.7	Електрощитова	-	200	-	-	-	-
1.8	Інвентарна	-	100	-	-	-	-
1.9	Кімната інвентару 1	-	100	-	-	-	-
1.10	Жіночий з/в	-	100	-	-	-	-

Продовження таблиці 2.1.

№ пп	Найменування	Середня освітленість робочих поверхонь, лк		Природне освітлення		Поєднане освітлення	
		при комбін. освіт.	при загальн. освіт.	КПО, %		КПО, %	
				при верхньому або комбінов. освіт.	при боковому освіт.	при верхньому або комб. освіт.	при боковому освіт.
1.11	Чоловічий з/в	-	100	-	-	-	-
1.12	Санвузол 1	-	150	-	-	-	-
1.13	Коридор	-	100	-	-	-	-
1.14	Тамбур 1	-	50	-	-	-	-
1.15	Сходова клітка 1	-	100	-	-	-	-
1.16	Кабінет лікаря	-	500	3,0	1,0	1,8	0,6
1.17	Тамбур 1	-	50	-	-	-	-
1.18	Процедурний кабінет	-	400	-	-	-	-
1.19	Очікувальна	-	100	-	-	-	-
1.20	Масажний кабінет 1	-	300	-	-	-	-
1.21	Масажний кабінет 2	-	300	-	-	-	-
1.22	Тамбур 2	-	50	-	-	-	-
1.23	Сходова клітка 2	-	100	-	-	-	-
1.24	Спортивний зал з 4 тен-	-	300	3,0	1,0	1,8	0,6
1.25	Спортивний зал з 3 тен-	-		3,0	1,0	1,8	0,6
1.27	Кімната відпочинку	-	400	3,0	1,0	1,8	0,6
1.28	Гардероб	-	300	-	-	-	-
1.29	Гардероб	-	300	-	-	-	-
1.31	Санвузол 2	-	100	-	-	-	-
1.32	Душова 1	-	100	-	-	-	-
1.33	Тамбур 3	-	50	-	-	-	-
1.34	Санвузол 3	-	100	-	-	-	-
1.35	Душова 2	-	100	-	-	-	-
1.36	Тамбур 4	-	50	-	-	-	-
1.37	Санвузол 3	-	100	-	-	-	-
1.38	Санвузол 4	-	100	-	-	-	-
1.39	Тамбур 4	-	50	-	-	-	-
1:40	Душова 2	-	100	-	-	-	-
1.41	Тамбур 4	-	50	-	-	-	-
1.42	Санвузол 5	-	100	-	-	-	-
1.43	Душова 2	-	100	-	-	-	-
1.44	Приміщення сушіння 1	-	100	-	-	-	-
1.45	Приміщення сушіння 2	-	100	-	-	-	-
1.46	Роздягальня	-	400	-	-	-	-
1.47	Санвузол 6	-	150	-	-	-	-
1.48	Душова 3	-	150	-	-	-	-
1.49	Буфет	-	300	-	-	-	-
1.50	Комора	-	100	-	-	-	-
1.51	Роздягальня персоналу	-	300	-	-	-	-
1.52	Підсобне приміщення	-	100	-	-	-	-
1.53	Розвантажувальна	-	100	-	-	-	-
1.54	Тамбур 5	-	50	-	-	-	-
1.55	Тамбур 6	-	50	-	-	-	-
1.56	Тамбур 7	-	50	-	-	-	-
1.57	Диспетчерська	-	200	-	-	-	-
2 поверх							
2.1	Електрощитова	-	200	-	-	-	-
2.2	Жіночий санвузол	-	100	-	-	-	-

Продовження таблиці 2.1

№ пп	Найменування	Середня освітленість робочих поверхонь, лк		Природне освітлення		Поєднане освітлення	
		при комбін. освіт.	при загальн. освіт.	КПО, %		КПО, %	
				при верхньому або комбінов. освіт.	при боковому освіт.	при верхньому або комб. освіт.	при боковому освіт.
2.3	Приміщення інвентаря	-	100	-	-	-	-
2.4	Тренажерний зал	-	300	3,0	1,0	1,8	0,6
2.5	Роздягальня жіноча	-	300	-	-	-	-
2.6	Роздягальня чоловіча	-	300	-	-	-	-
2.7	Чоловічий санвузол	-	100	-	-	-	-
2.8	Приміщення тренерів	-	400	3,0	1,0	1,8	0,6
2.9	Коридор	-	100	-	-	-	-
2.10	Сходова клітка 1	-	100	-	-	-	-
2.11	Сходова клітка 2	-	100	-	-	-	-
2.12	Санвузол 1	-	100	-	-	-	-
2.13	Роздягальня	-	400	-	-	-	-
2.14	Санвузол 2	-	150	-	-	-	-
2.15	Душова 1	-	150	-	-	-	-
2.16	Санвузол 3	-	100	-	-	-	-
2.17	Тамбур 1	-	100	-	-	-	-
2.18	Санвузол 3	-	100	-	-	-	-
2.19	Тамбур 2	-	100	-	-	-	-
2.20	Душова 2	-	100	-	-	-	-
2.21	Душова 3	-	100	-	-	-	-
2.22	Санвузол 4	-	150	-	-	-	-
2.23	Приміщення тренерів	-	400	3,0	1,0	1,8	0,6
2.24	Санвузол 5	-	100	-	-	-	-
2.25	Душова 3	-	100	-	-	-	-
2.26	Душова 4	-	100	-	-	-	-
2.27	Санвузол 6	-	100	-	-	-	-
2.28	Балкон 1	-	100	-	-	-	-
2.29	Балкон 2	-	100	-	-	-	-
2.15	Душова 1	-	150	-	-	-	-
2.16	Санвузол 3	-	100	-	-	-	-
2.17	Тамбур 1	-	100	-	-	-	-
2.18	Санвузол 3	-	100	-	-	-	-
2.19	Тамбур 2	-	100	-	-	-	-
2.20	Душова 2	-	100	-	-	-	-
2.21	Душова 3	-	100	-	-	-	-
2.22	Санвузол 4	-	150	-	-	-	-
2.23	Приміщення тренерів	-	400	3,0	1,0	1,8	0,6
2.24	Санвузол 5	-	100	-	-	-	-
2.25	Душова 3	-	100	-	-	-	-
2.26	Душова 4	-	100	-	-	-	-
2.27	Санвузол 6	-	100	-	-	-	-
2.28	Балкон 1	-	100	-	-	-	-
2.29	Балкон 2	-	100	-	-	-	-
3 поверх							
3.1	Зал єдиноборств	-	300	3,0	1,0	1,8	0,6
3.2	Санвузол 1	-	100	-	-	-	-
3.3	Інвентарна	-	100	-	-	-	-

Продовження таблиці 2.1

№ пп	Найменування	Середня освітленість робочих поверхонь, лк		Природне освітлення КПО, %		Поєднане освітлення КПО, %	
		при комбін. освіт.	при загальн. освіт.	при верхньому або комбінов. освіт.	при боковому освіт.	при верхньому або комб. освіт.	при боковому освіт.
3.4	Тренерська	-	400	3,0	1,0	1,8	0,6
3.5	Чоловічий санвузол	-	100	-	-	-	-
3.6	Коридор	-	100	-	-	-	-
3.7	Спортивний зал з 5	-	300	3,0	1,0	1,8	0,6
3.12	Жіночий санвузол	-	100	-	-	-	-
3.13	Роздягальня	-	400	-	-	-	-
3.14	Електроцитова	-	200	-	-	-	-
3.15	Сходова клітина типу	-	100	-	-	-	-
3.16	Душова	-	150	-	-	-	-
3.17	Санвузол 2	-	150	-	-	-	-
3.18	Сходова клітка 1	-	100	-	-	-	-
4 поверх							
4.1	Кімната прийому їжі	-	300	-	-	-	-
4.2	Роздягальня персоналу	-	300	-	-	-	-
4.3	Санвузол 1	-	100	-	-	-	-
4.4	Санвузол 2	-	100	-	-	-	-
4.5	Кабінет 1	-	500	3,0	1,0	1,8	0,6
4.6	Кабінет 2	-	500	3,0	1,0	1,8	0,6
4.7	Кабінет 3	-	500	3,0	1,0	1,8	0,6
4.8	Кабінет 4	-	500	3,0	1,0	1,8	0,6
4.9	Кабінет 4	-	500	3,0	1,0	1,8	0,6
4.10	Венткамера	-	50	-	-	-	-
4.11	Сходова клітка 1	-	100	-	-	-	-
4.12	Приймальня	-	300	-	-	-	-
4.13	Роздягальня персоналу	-	300	-	-	-	-
4.14	Душова 1	-	100	-	-	-	-
4.15	Душова 2	-	100	-	-	-	-

Виходячи з даних, наведених у таблиці 2.1, природне освітлення має забезпечуватися у таких приміщеннях:

1. Кабінети;
2. Спортивні зали;
3. Тренерські;
4. Кабінети лікарів;
5. Пости охорони;

З допомогою комп'ютерного моделювання можна визначити можна визначити нестачу природного освітлення або приміщення, в які його можна додати для зниження навантаження на штучне освітлення, тим самим збудувати

більш енергоефективну систему будівлі.

Моделювання будівлі і розрахунків природного освітлення проведено при допомозі програмного комплексу DIALux EVO. В програму було внесено несучі елементи будівлі (колони, стіни перекриття, покрівлю, підлога) отвори (вікна, вітражі) додано розташування будівлі відповідно до світла (головний вхід будівлі розташований на захід), додано географічне становище будівлі (задані координаційні параметри і т.п.) а також часовий пояс відповідно до умовної географічної прив'язки моделі). Задані в програмі параметри дають змогу виконати моделювання, максимально наближене до природних умов, і отримати коректні результати. (Рисунок 2.5, 2.6).

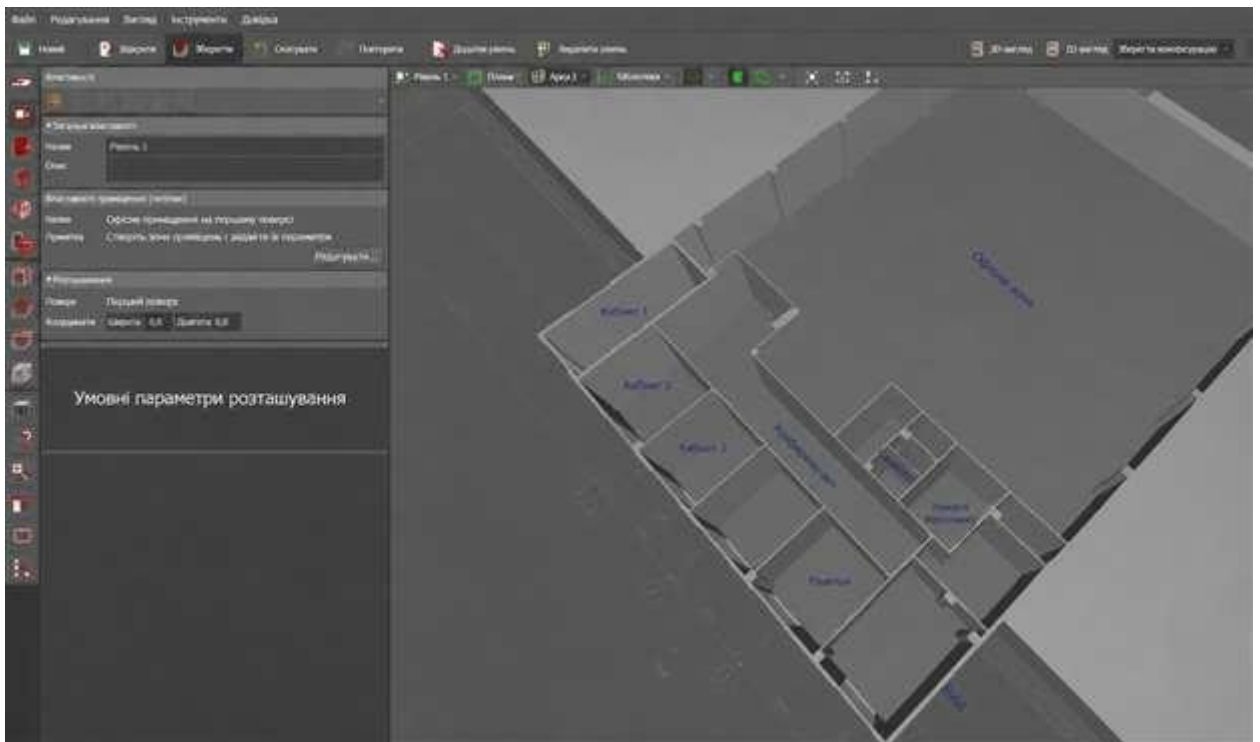


Рисунок 2.5 – Побудова моделі будівлі

Далі після внесення всіх вихідних даних необхідно вибрати часовий проміжок та якість природного освітлення (чисте небо, хмарно, пасмурно). Вибираємо час 12:00 для моделювання при різній освітленості (хмарно і чисте небо) даних результатів буде достатньо для подальшої розробки системи освітлення.

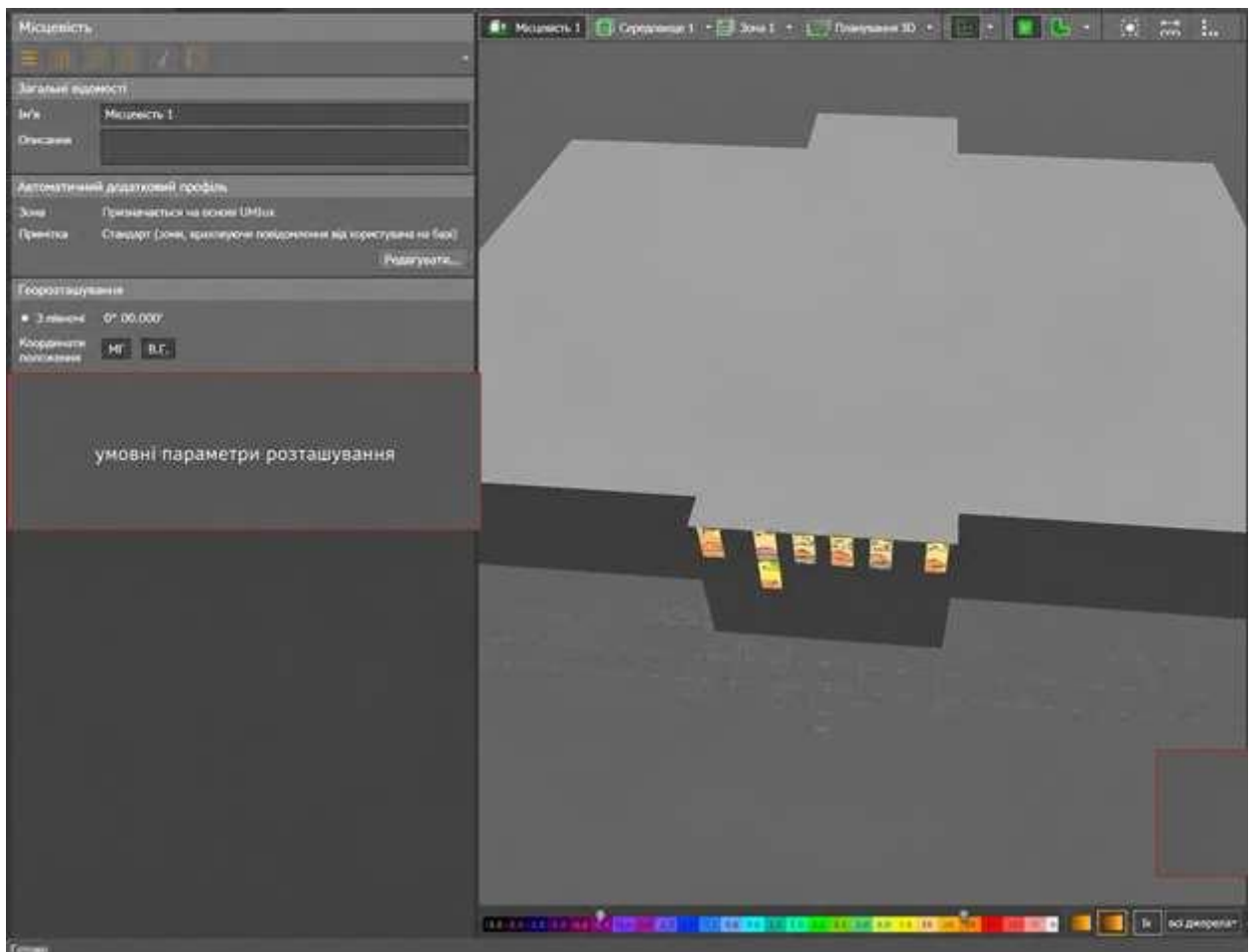


Рисунок 2.6 – Внесення параметрів розташування будівлі

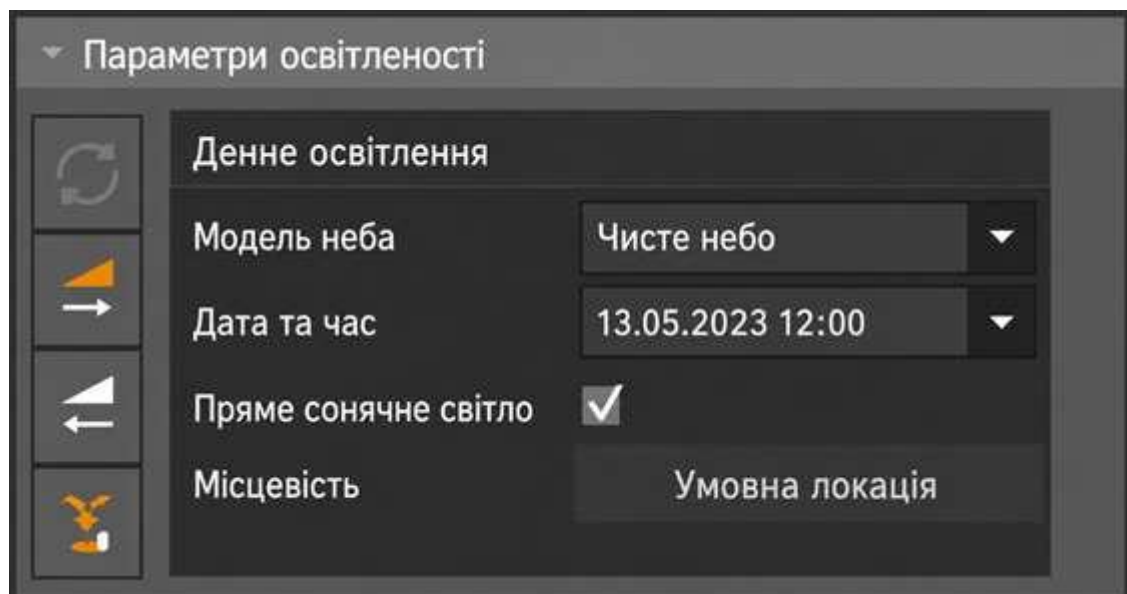


Рисунок 2.7 – Визначення параметрів освітленості

Результати моделювання природного освітлення наведено на Рисунку 2.8, наприклад у кабінетах, показує, що рівень КПО за найгірших умов (похмура погода о 12:00) дорівнює 6,943%, що приблизно у 6 разів перевищує прийняте нормоване значення для природного бокового освітлення.

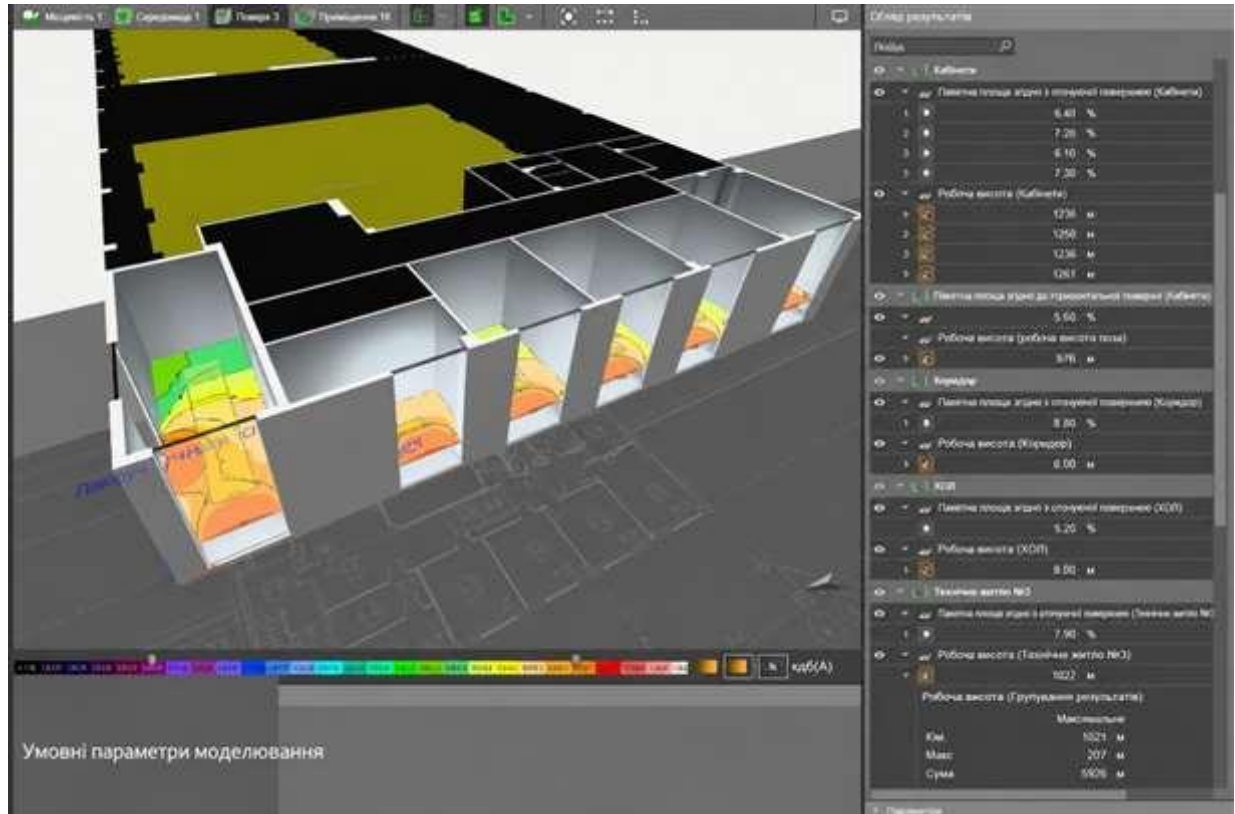


Рисунок 2.8 – Результат моделювання природного освітлення в приміщеннях

Результати моделювання всієї будівлі показали що всі вимоги нормативно-правових документів виконуються і приміщення в яких необхідно передбачити природне освітлення передбачено і його показники, відповідають вимогам.

2.3 Створення енергозберігаючої системи освітлення

До системи висуваються такі вимоги:

1. В денний час забезпечувати природне освітлення приміщень центру за допомогою сонячних зенітних ліхтарів та світловодів з автоматичним регулюванням інтенсивності світлового потоку (димеруванням) для створення

комфортного (незасліплюваного) світла;

2. У разі недостатнього рівня природного світла, за сигналом від датчика освітленості, вмикається штучне освітлення на базі енергоефективних світлодіодних світильників;

3. Забезпечити живлення системи штучного освітлення та механізмів керування сонячними світловодами за рахунок встановлених сонячних панелей (міні-СЕС);

4. Керування всією системою має бути повністю автоматизованим із можливістю реалізації різних сценаріїв освітлення.

2.3.1 Створення комфортного світлового середовища в денний час

Отже, для створення комфортного світлового середовища в денний час та зниження витрат на електроенергію пропонується:

В приміщеннях критих кортів (приміщення 1.24, 1.25) використати спеціальні дахові зенітні ліхтарі.

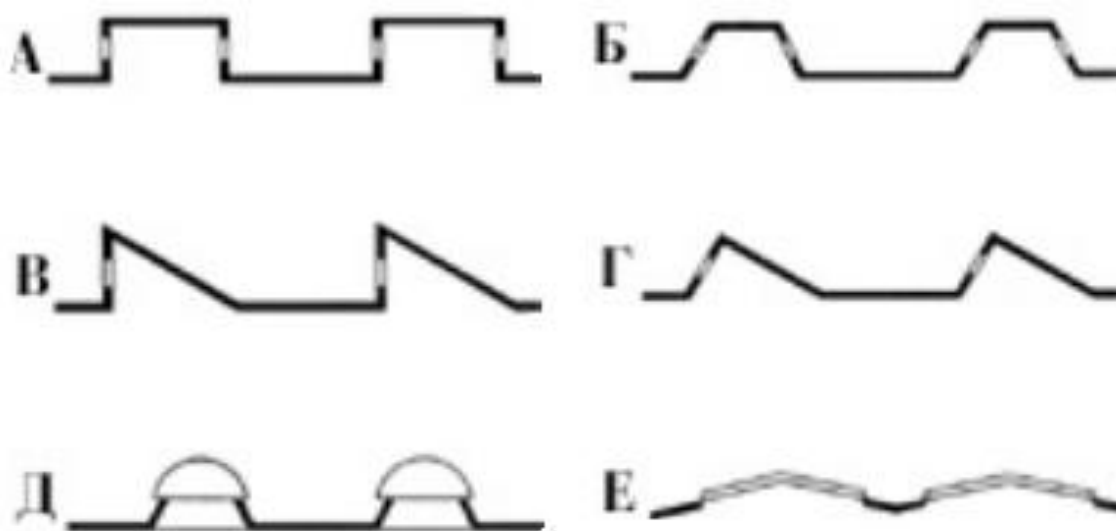


Рисунок 2.9 – Основні типи зенітних ліхтарів

А – прямокутний; Б – трапецієвидний; В – шедовий з вертикальним склінням;
Г – шедовий з нахиленим склінням; Д – купольні; Е – зенітні.

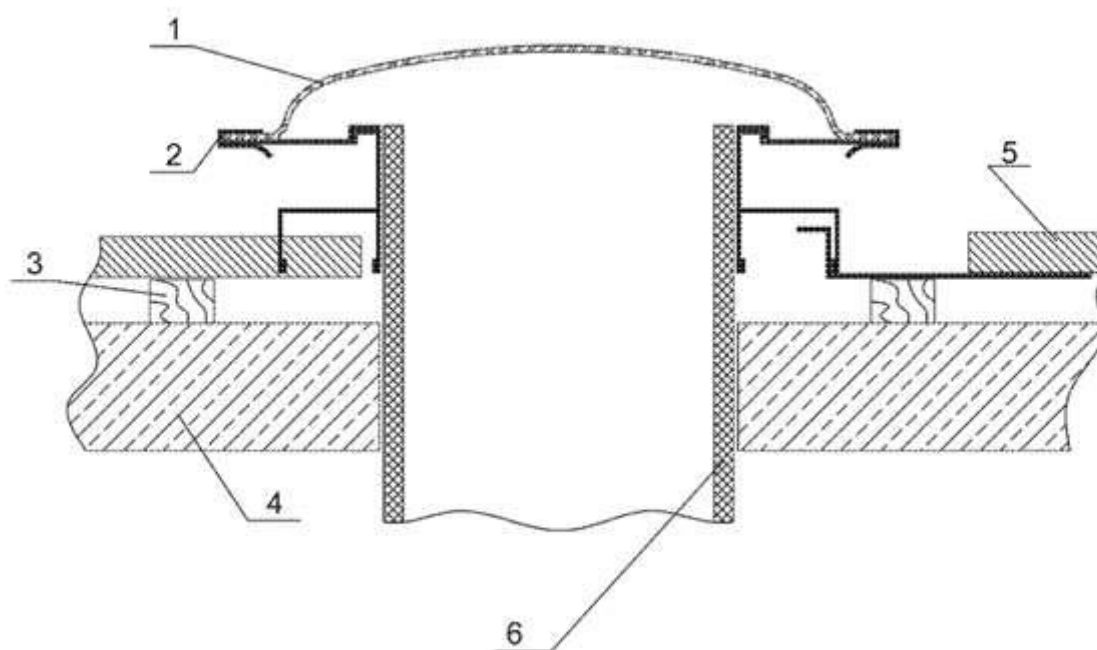


Рисунок 2.10 – Конструкція зенітного ліхтаря верхнього світла

1 – застелення; 2 – герметизація; 3 – балка; 4 – основа даху; 5 – покрівля;
6 – внутрішнє оздоблення.



Рисунок 2.11 – Виконання зенітних світлових отворів у даху центру

На даху центру над зенітними ліхтарями встановлені спеціальні дашки функцією яких є затемнення світлового отвору та створення комфортних умов освітленості.

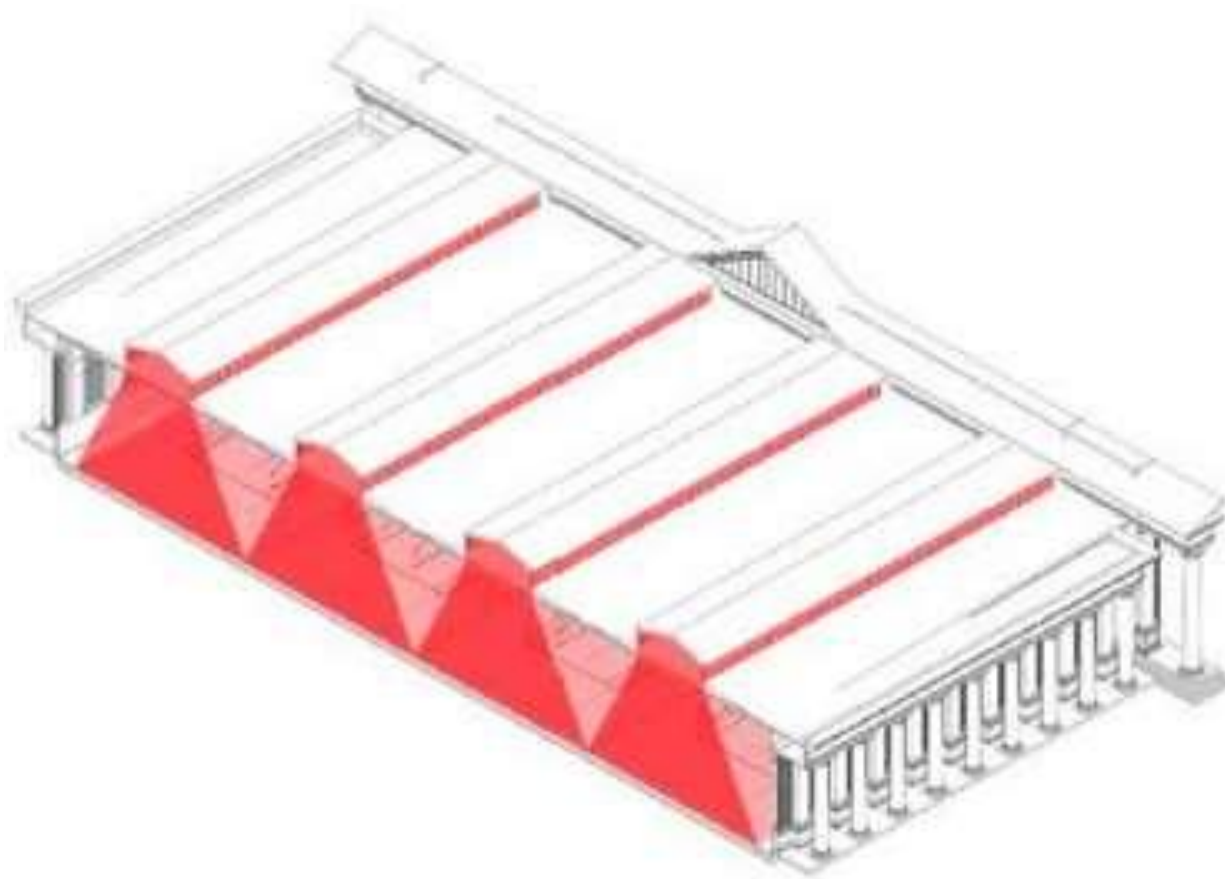


Рисунок 2.12 – Розподіл світла від верхніх зенітних ліхтарів

Для забезпечення освітлення у закритих приміщеннях центральної частини будівлі (адміністративно - побутова частина) використовувати сонячні світловоди (Рисунок 1.6).

2.3.2 Створення енергоефективної системи компенсації нестачі природного освітлення

Енергоефективними і сучасними освітлювальними приладами є світлодіодні світильники, що забезпечують найменший показник споживання електро-енергії, менше гріються, мають більший термін служби.

Результати моделювання штучного освітлення показали – що для компенсації освітленості для кортів і для забезпечення потрібної освітленості потрібно 29 світильників Philips GentleSpace gen3 потужністю 75 Вт. Загальний

вигляд світильника показано на рисунку 2.13, а його технічні характеристики в таблиці 2.2.



Рисунок 2.13 – Загальний вигляд світлодіодного світильника PhilipsGentle

Space gen3

Таблиця 2.2 – Характеристика світильника

Параметр	Значення
Бренд	Philips
Сімейство	GentleSpace gen3
Тип	Highbay
Потужність (Вт)	75
Колірна температура (К)	4000
Ступінь захисту (IP)	IP65
Колір корпусу	Срібний
Висота стелі (mm)	Для стелі більше 6 м
Світловий потік	13000
Захист від мех. пошкодж. (IK)	IK07
Оптика	Широка
Індекс кольоропередачі	>80
Температурний режим (°C)	-30 до +45
Термін служби (год)	100000
Гарантійний період	5 років
Вхідна напруга (В)	220 - 240
Частота струму	50 - 60
Матеріал корпусу	алюміній
Матеріал оптики	Полікарбонат

На рисунку 2.14 наведено розташування світильників над кортами згідно

модельовання в програмі DIALux.

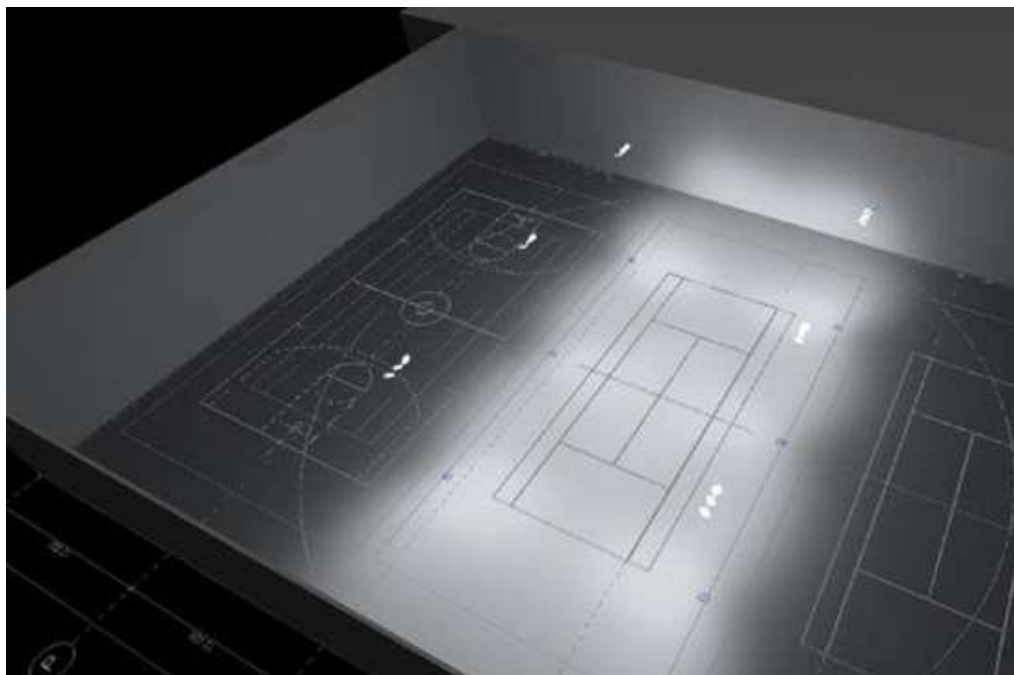


Рисунок 2.14 – Розташування світильника PhilipsGentle 3 над кортами

Для освітлення коридорів і інших приміщень використаємо LED панелі
Загальний вигляд LED панелі Electro House 36Вт наведено на рисунку 2.15.



Рисунок 2.15 – Загальний вигляд LED панелі Electro House 36Вт

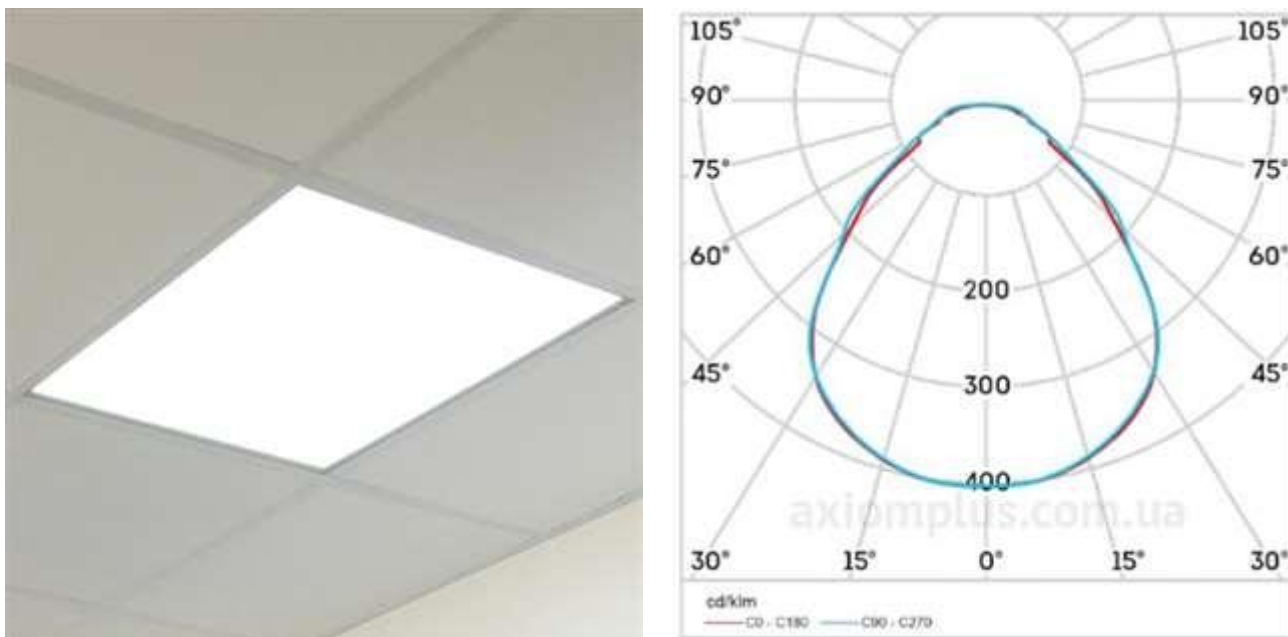


Рисунок 2.16 – Характеристика LED панелі Electro House 36Вт

2.3.3 Створення системи резервного живлення на базі міні - СЕС

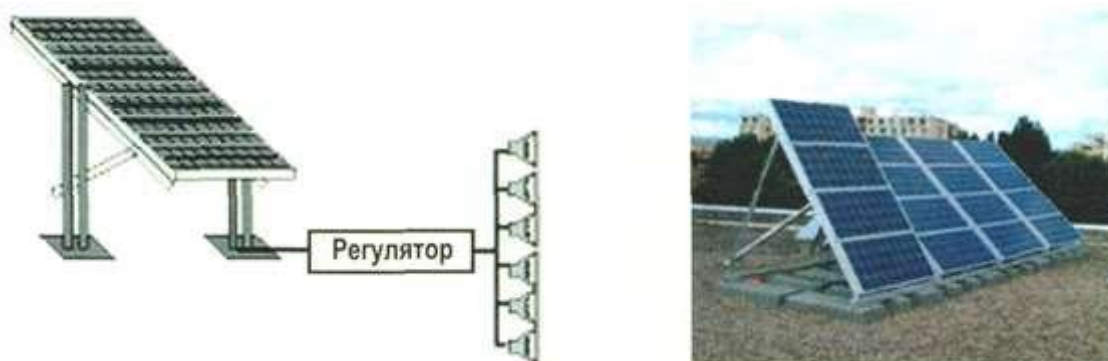


Рисунок 2.17 – Фотоелектричні панелі для живлення системи освітлення

Для розрахунку необхідної потужності міні СЕС слід розрахувати кількість споживаної потужності основних електроприймачів.

Проведемо розрахунок потужності системи освітлення, результати наведемо у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку орієнтовної встановленої потужності системи освітлення та вентиляції тенісного центру

Група приміщень	К - сть, шт.	Потужність одного світильника, Вт	Розрахунок	Потужність, кВт
Тенісні корти	29	75	$49 \times 75 / 1000$	2,175
Універсальний майданчик і спортивні зали	25	75	$25 \times 75 / 1000$	1,875
Зали ОФП, тренажерні та спеціалізовані спортивні приміщення	28	36	$18 \times 36 / 1000$	1,008
Адміністративні та медичні приміщення	32	36	$32 \times 36 / 1000$	1,152
Роздягальні, душові та санітарно-побутові приміщення	30	36	$30 \times 36 / 1000$	1,08
Коридори, сходові клітини та технічні приміщення	30	36	$30 \times 36 / 1000$	1,08
Локальні службові приміщення та допоміжні зони	34	36	$34 \times 36 / 1000$	1,224
Інноваційна система очищення повітря	1	2 500	1×1500	1 500
ВСЬОГО, кВт				11,0

Таблиця 2.4 – Параметри міні- СЕС для тенісного центру

Параметр	Значення
Тип панелей	Монокристалічні або полікристалічні
Потужність однієї панелі	400 – 450 Вт
Кількість панелей	25 – 28 шт.
Напруга системи	380 – 400 В
Тип інвертора	Мережевий (Grid-tied) з підтримкою димерування LED та світловодів
Орієнтація	Південна, кут нахилу 25–35°
Батарея	LiFePO4 або AGM, ємністю 10–20 кВт·год для резерву
Контролер	MPPT, сумісний з димеруванням LED-освітлення та світловодами

Таблиця 2.5 – Комплектація міні - СЕС

№зп	Елемент	К - сть	Основні характеристики
1.	Сонячні панелі	28 шт.	450 Вт, монокристалічні
2.	Гібридний інвертор	1 шт.	12 кВт, 3 фази, 380 – 400 В.
3.	Акумуляторна батарея	4 шт.	LiFePO4, 5 кВт·год:
4.	MPPT-контролер	1 шт.	Вбудований в інвертор
5.	Кріплення панелей	за проектом	Для 28 панелей, дахове або баластне
6.	DC-кабель	за проектом	4 – 6 мм ²
7.	АС-кабель	за проектом	5×6 або 5×10 мм ²
8.	МС4-конектори	за проектом	Для з'єднання панелей
9.	DC-захист	за проектом	Автомати, роз'єднувач, УЗІП
10.	АС-захист	за проектом	Автомат, УЗІП, щит
11.	Система керування освітленням	за проектом	Датчики освітленості, димери, таймери

З метою забезпечення живлення системи освітлення тенісного центру (із максимальним розрахунковим навантаженням 11 кВт) обґрунтовано доцільність застосування малої сонячної електростанції (міні - СЕС) загальною встановленою потужністю 12,6 кВт. До апаратної частини запропонованої системи входять 28 монокристалічних фотоелектричних модулів потужністю 450 Вт кожен, трифазний гібридний інвертор номінальною потужністю 12 кВт, літій-залізо-фосфатна (LiFePO4) акумуляторна батарея ємністю 20 кВт·год, відповідні монтажні конструкції, кабельна продукція, засоби захисної автоматики, а також система автоматизованого керування освітленням.

Застосування такої конфігурації дає змогу забезпечити часткове або повне автономне живлення світлодіодного (LED) освітлення за рахунок перетворення сонячної енергії, що сприяє зниженню обсягів споживання електроенергії з централізованої мережі та підвищенню загального рівня енергоефективності об'єкта. Оптимізація роботи СЕС досягається завдяки інтегрованому в гібридний інвертор MPPT-контролеру, а також застосуванню

датчиків освітленості та димерів, які забезпечують автоматичне регулювання інтенсивності світлового потоку LED-світильників.

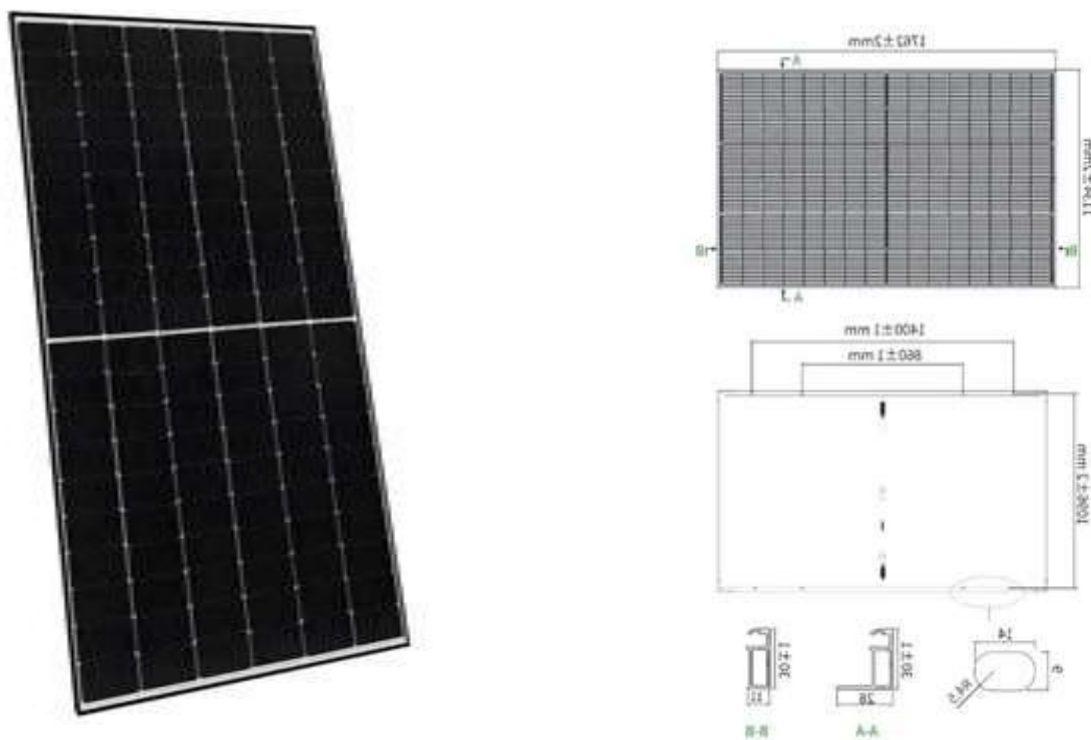


Рисунок 2.18 – Загальний вигляд панелі Jinko Solar JKM-450

Вибір трифазного гібридного інвертора номінальною потужністю 12 кВт обґрунтовується специфікою енергоспоживання тенісного центру. Оскільки цей об'єкт належить до категорії громадських (комерційних) будівель зі значним розподіленим навантаженням, використання трифазної архітектури мережі є технічно необхідним. Застосування трифазного інвертора забезпечує симетричний розподіл потужності (близько 3,6 кВт на кожен фазу), що запобігає виникненню несиметрії напруг (перекосу фаз) у внутрішній електромережі будівлі. Додатково це знижує струмові навантаження на кабельні лінії, дозволяючи оптимізувати переріз провідників та мінімізувати теплові втрати.

Крім того, гібридний тип інвертора гарантує гнучке управління енергопотоками між фотоелектричними модулями, акумуляторною батареєю та зовнішньою мережею, забезпечуючи безперебійну роботу освітлення навіть за умов нестабільності централізованого електропостачання. Номінальна

потужність інвертора у 12 кВт формує оптимальний експлуатаційний резерв (близько 9 %) відносно максимального розрахункового навантаження (11 кВт), що запобігає роботі обладнання на межі можливостей і значно подовжує термін його служби.



Рисунок 2.19 – Загальний вигляд гібридного інвертора Deye SUN-12K

Вибір ємності акумуляторної батареї в діапазоні від 10 до 20 кВт·год детермінується нормативними вимогами до тривалості автономної роботи системи освітлення тенісного центру та обраним сценарієм енергонезалежності об'єкта.

Застосування накопичувача ємністю 10 кВт·год забезпечує базовий рівень резервування. З урахуванням максимального розрахункового навантаження (11 кВт) та експлуатаційної глибини розряду (DoD) акумуляторів типу LiFePO₄, такий запас енергії здатен гарантувати повноцінну роботу освітлення протягом приблизно 45–50 хвилин. Цього часу цілком достатньо для безпечного та комфортного завершення поточних спортивних заходів, а також планової евакуації відвідувачів у разі раптового знеструмлення централізованої мережі.

Збільшення ємності акумуляторного парку до 20 кВт·год формує розширений рівень резервування. Така конфігурація дозволяє підтримувати номінальну яскравість освітлювальних приладів до двох годин при

максимальному навантаженні (або значно довше за умови застосування димерів для автоматичного зниження інтенсивності світла). Окрім забезпечення надійного резервного живлення під час тривалих аварійних відключень, розширена ємність дає змогу ефективно акумулювати надлишки сонячної генерації вдень для їх подальшого використання у вечірній час, що сприяє оптимізації графіка електричного навантаження та додатковій економії коштів.



Рисунок 2.20 – Загальний вигляд батареї Deye SE-G 5.1 Pro-B (5 кВт)

2.4 Розробка схеми автоматизації системи управління мікрокліматом та освітленням тенісного центру

На основі аналізу процесів штучного й природного освітлення, а також параметрів мікроклімату в закритих приміщеннях тенісного центру, визначено необхідність оптимізації відповідних інженерних систем. Для досягнення максимальної енергетичної ефективності функціонування комплексу та забезпечення простоти його експлуатації обґрунтовано впровадження автоматизованої системи керування (АСК) з мінімізацією антропогенного фактора (безпосереднього залучення людини).

Загальна архітектура, логіка взаємодії компонентів та топологія мережі представлені у графічному матеріалі. Зокрема, на рисунку 2.21 наведено

структурну схему автоматизації системи керування мікрокліматом та освітленням тенісного центру.

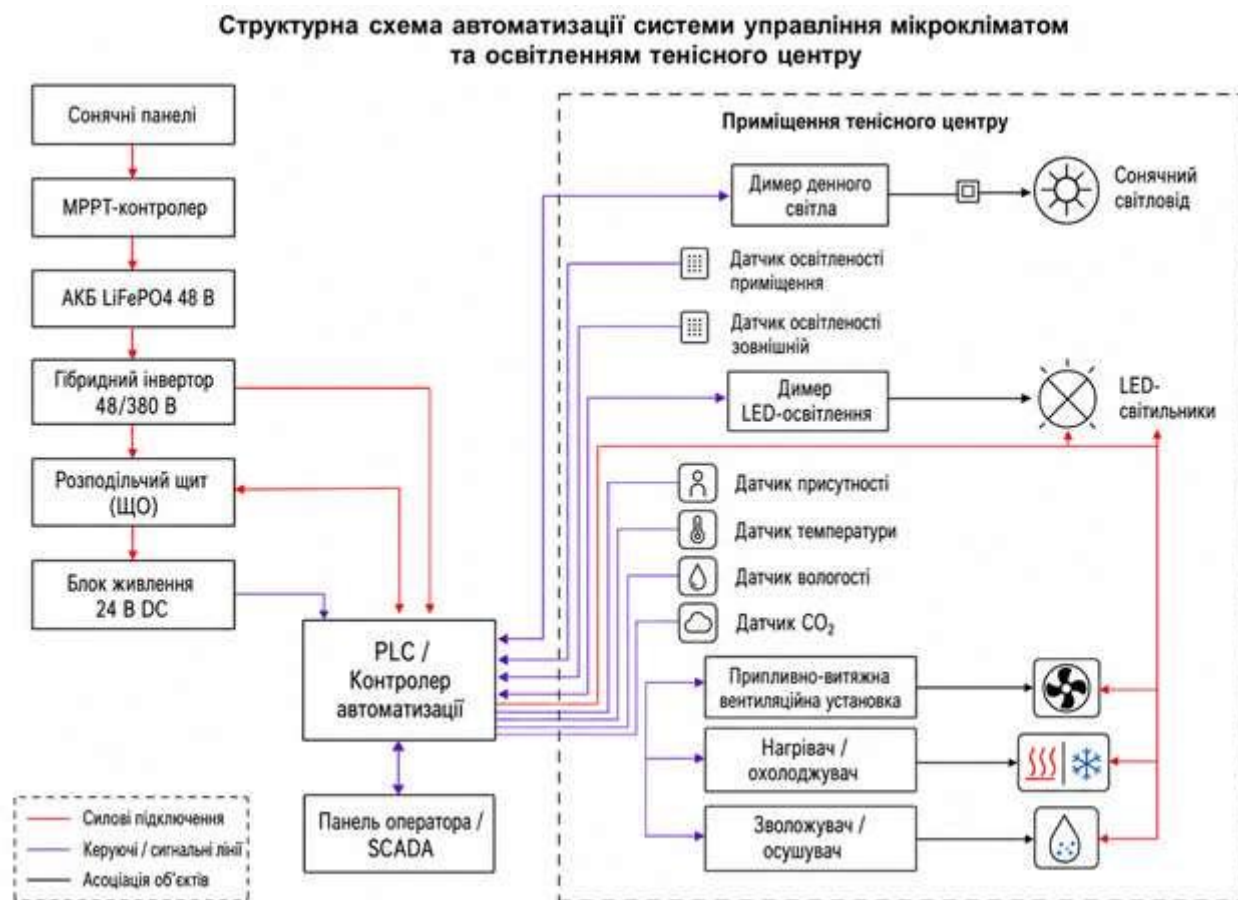


Рисунок 2.21 – Структурна схема автоматизації

Відповідно до представленої на рисунку 2.21 схеми, розроблена інженерна архітектура поділяється на кілька функціональних контурів:

1. Підсистема енергозабезпечення та генерації: живлення комплексу автоматизації реалізовано за допомогою відновлюваних джерел енергії. Струм від сонячних панелей через MPPT – контролер спрямовується до літій - залізо-фосфатної акумуляторної батареї (АКБ LiFePO₄ 48 В), а далі – до трифазного гібридного інвертора (48/380 В). Від інвертора напруга подається на розподільчий щит (ЩО), який через блок живлення 24 В DC забезпечує постійним струмом низьковольтні елементи автоматики.

2. Центральне ядро керування та диспетчеризації: головним обчислювальним елементом системи є програмований логічний контролер

(PLC / Контролер автоматизації). Він здійснює збір даних із периферійних сенсорів,

обробляє інформацію згідно із закладеними алгоритмами та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів. Взаємодія з персоналом та моніторинг процесів у реальному часі відбуваються через людино-машинний інтерфейс (Панель оператора / SCADA).

3. Контур автоматизованого керування освітленням: контролер (PLC) отримує інформаційні сигнали від зовнішнього та внутрішнього датчиків освітленості приміщення. На основі цих даних через відповідні виконавчі пристрої (димер денного світла та димер LED-освітлення) здійснюється плавне регулювання інтенсивності світлового потоку від сонячних світловодів та штучних LED-світильників.

4. Контур регулювання параметрів мікроклімату: забезпечує комфортні умови у залі на основі показань комплексу сенсорів: датчика присутності, температури, вологості та концентрації вуглекислого газу (CO₂). Опрацьовуючи ці тригери, PLC за допомогою керуючих ліній регулює роботу припливно - витяжної вентиляційної установки, модулів нагрівання / охолодження, а також систем зволоження / осушення повітря. Силові підключення забезпечують пряме живлення цих потужних кліматичних агрегатів від розподільчого щита.

2.4.1 Опис основного обладнання системи

До апаратного складу щита автоматизації та керування системою освітлення входять такі комутаційно-захисні елементи: Ввідний модульний автоматичний вимикач серії ВА47-63 (Рисунок 2.22).

Апарат має такі технічні характеристики: номінальна напруга 220 В (230 В), однополюсне виконання (1P), номінальний струм 32 А, час-струмова характеристика типу С (струм відсічки становить $I = 10 I_n$). Цей вимикач призначений для комутації ввідної лінії електроживлення, загального

секціонування мережі, а також комплексного захисту встановленого у шафі обладнання автоматики від перевантажень і струмів короткого замикання. Лінійні (групові) автоматичні вимикачі типу ВА47-63, які застосовуються для розподілу електроенергії, подачі живлення на окремі відхідні групи освітлювальних приладів та їхнього індивідуального захисту від надструмів.



Рисунок 2.22 – Автоматичний вимикач, 32А.

Трипозиційний модульний перемикач серії Basic (однополюсне виконання 1Р, номінальний струм 16 А) встановлюється в щиті автоматизації та призначений для ручного вибору режиму керування освітленням. Цей комутаційний апарат забезпечує перемикання між трьома функціональними положеннями:

Дистанційний режим – передбачає передачу функцій керування на віддалений пульт диспетчеризації;

Режим вимкнення (нейтральне положення) – трипозиційний модульний перемикач серії Basic (однополюсне виконання 1Р, номінальний струм 16 А, Рисунок 2.23) встановлюється в щиті автоматизації та призначений для ручного вибору режиму керування освітленням. Цей комутаційний апарат забезпечує перемикання між трьома функціональними положеннями.

Автоматичний режим – переводить систему на функціонування під керівництвом програмованого логічного контролера (ПЛК) згідно із закладеними програмними алгоритмами. Забезпечує розривання кола керування для безпечного обслуговування системи або її повного деактивування;



Рисунок 2.23 – Трипозиційний модульний перемикач.

Фотореле з виносним датчиком серії DIN-1 (діапазон регулювання порогу спраховування 2 – 100 лк, номінальний струм комутації 25 А, максимальна потужність комутуваного навантаження до 5500 Вт, Рисунок 2.24) призначене для автоматичного дискретного керування (вмикання та вимикання) лініями штучного освітлення залежно від рівня поточної природної освітленості.



Рисунок 2.24 – Фотореле з виносним датчиком

Пристрій здійснює безперервний моніторинг інтенсивності світлового потоку за допомогою виносного фотосенсора. У разі зниження рівня природного світла нижче заданого значення (в межах 2–100 лк) фотореле замикає вихідні контакти, подаючи живлення на освітлювальні прилади. При підвищенні рівня освітленості вище встановленого порогу відбувається автоматичне деактивування системи штучного освітлення, що забезпечує оптимізацію енергоспоживання об'єкта.

Імпульсні (бістабільні) реле (Рисунок 2.25) застосовуються для оптимізації топології кабельних мереж, спрощення схем комутації та зниження втрат потужності в системах багатоточкового керування освітленням. Впровадження цих апаратів є технічно та економічно обґрунтованою альтернативою класичним схемам із використанням прохідних і перехресних вимикачів.



Рисунок 2.25 – Трипозиційний модульний перемикач.

Основна особливість функціонування імпульсних реле полягає в можливості організації керування освітлювальним обладнанням із довільної кількості точок за допомогою паралельно підключених кнопкових вимикачів (без фіксації положення). Оскільки для передачі керуючого сигналу (імпульсу) на котушку реле достатньо малопотужної двопровідної лінії, це дозволяє суттєво скоротити сумарну довжину кабельної продукції, оптимізувати переріз провідників у колах керування та мінімізувати втрати напруги в мережі.

Для реалізації алгоритмів автоматизації обґрунтовано вибір базового програмованого логічного контролера (ПЛК) модульного виконання з функцією віддаленого керування. Пристрій оснащений 6 дискретними входами, 4 релейними виходами, інтегрованими каналами зв'язку Wi-Fi/GSM та має номінальну напругу живлення 230 В (Рисунок 2.26). Обраний ПЛК здійснює безперервний моніторинг стану (наявності напруги) на шести вбудованих входах



Рисунок 2.26 – Логічний програмований контролер

а також виконує циклічне опитування периферійних модулів розширення через послідовний інтерфейс RS-485. Отримані телеметричні дані транслюються на MQTT-брокер (сервер) за допомогою бездротових каналів зв'язку Wi-Fi або GSM.

В результаті оператор має можливість у режимі реального часу віддалено моніторити стан входів та здійснювати контроль підключених навантажень. Клієнтський додаток також підтримує функцію формування та надсилання команд для увімкнення або вимкнення вихідних реле як базового модуля ПЛК, так і підключених модулів розширення. За такого сценарію ініційована користувачем команда передається через додаток на сервер, звідки зчитується контролером. Після фізичного перемикання відповідного реле ПЛК генерує та відправляє зворотний сигнал-підтвердження про успішне виконання операції. Це дозволяє замикати контур керування, забезпечуючи можливість не лише

надсилати команди, а й верифікувати їх фактичне відпрацювання виконавчими пристроями. Контакти вбудованих електромагнітних реле ПЛК розраховані на комутацію струмів до 10 А при напрузі 230 В за умов чисто резистивного навантаження (категорія застосування AC-1). Оскільки реальне електротехнічне обладнання інженерних систем об'єкта може мати значну індуктивну складову та високі пускові струми, безпосереднє підключення таких споживачів до виходів контролера є недоцільним. З метою захисту елементної бази ПЛК від обгорання контактів та передчасного зносу, для комутації силових кіл рекомендовано обов'язково застосовувати проміжні модульні контактори (магнітні пускачі).

У відповідно з функціональною схемою системи автоматизації і вибраний елементною базою складена принципова схема, яка представлена. (Рисунок 2.27)

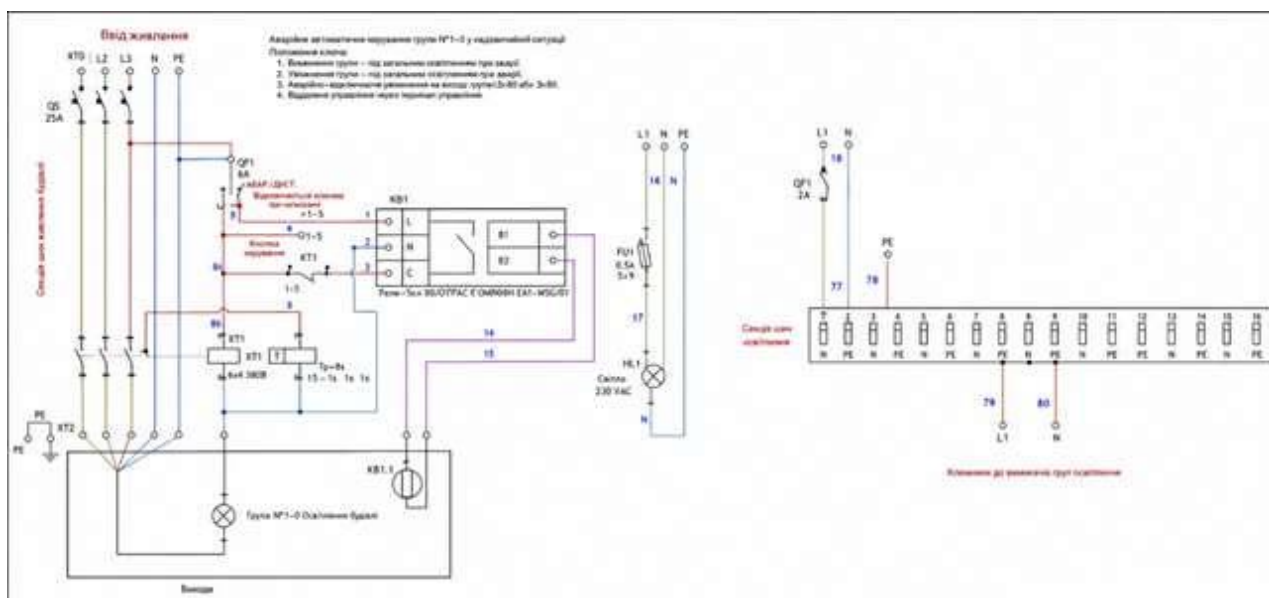


Рисунок 2.27 – Електрична принципова схема системи автоматизації

2.4.2 Алгоритм роботи системи

Функціональна архітектура та алгоритм роботи системи автоматизації описуються таким чином:

Комутаційно-захисна апаратура: Ввідний автоматичний вимикач QF_1 забезпечує комплексний захист внутрішнього обладнання та силових кіл самого щита від струмів короткого замикання й перевантажень.

Лінійний автоматичний вимикач QF_2 призначений для захисту відхідних групових мереж штучного освітлення від аварійних режимів роботи та надструмів.

Інформаційно-вимірювальні елементи: Для реалізації енергоефективних сценаріїв керування та забезпечення раціонального балансу між природним і штучним світлом у системі задіяні первинні сенсори й датчики часу. Моніторинг поточного рівня інсоляції в приміщенні здійснює фотореле з виносним датчиком освітленості KBL_1 . Синхронізація роботи системи з часом доби та поточним сезоном забезпечується астрономічним таймером KT_1 . Це дозволяє динамічно адаптувати інтенсивність штучного освітлення залежно від фактичного рівня природного світлового потоку. Логіко-обчислювальне ядро: Центральну обробку інформаційних сигналів, що надходять від датчиків KBL_1 та KT_1 а також виконання алгоритмів логічного перемикачання параметрів і формування керуючих впливів на виконавчі механізми здійснює програмований логічний контролер (ПЛК).

Внутрішня шафа автоматизації управління освітленням виглядає наступним чином, рисунок 2.28.

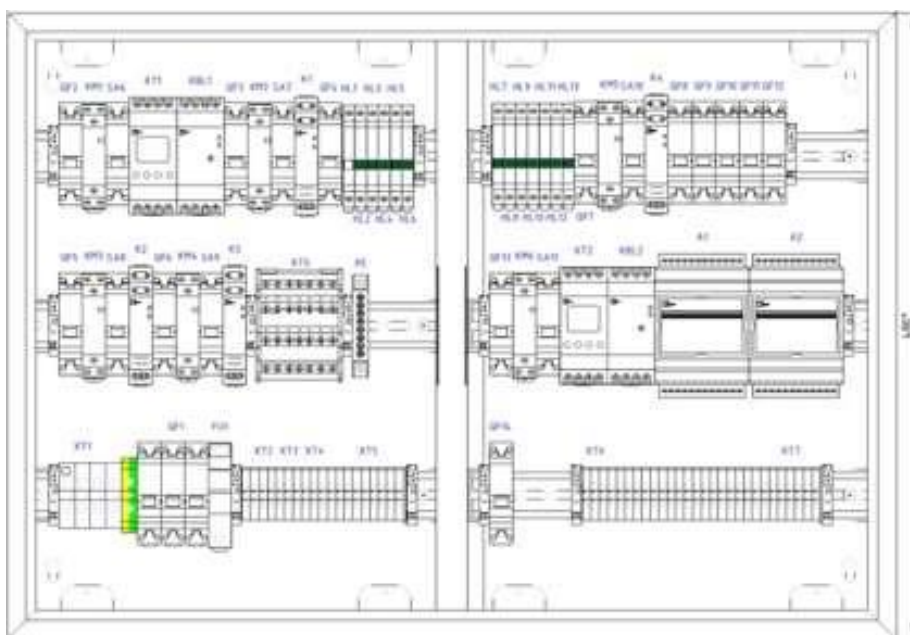


Рисунок 2.28 – Зовнішній вигляд щита автоматизації

2.4.3 Система очищення повітря закритих приміщень центру

Результати дослідження динаміки конвективних потоків підтверджують технічну доцільність інтеграції електростатичних фільтрів у систему очищення повітряного середовища об'єкта. Нагріті повітряні маси, які природним шляхом піднімаються від локальних джерел тепловиділення, проходять крізь корпус фільтра, де зважені дрібнодисперсні часточки пилу та аерозолей типізовано осідають на різнойменно заряджених електродах під дією електростатичного поля. Перевагою такої конфігурації є відсутність потреби у механічному спонуканні (використанні вентиляторів) для транспортування повітря через фільтрувальний елемент. Це дозволяє суттєво знизити капітальні та експлуатаційні витрати на обслуговування системи, усунути джерела додаткового акустичного шуму та підвищити загальну енергоефективність рішення.

Зазначений метод безперервної пасивної аерації та очищення повітря є раціональним для досліджуваного об'єкта, оскільки це приміщення є повністю замкненим простором (без прямого доступу до зовнішнього повітря) із обмеженим природним повітрообміном, але за наявності постійних джерел конвективних потоків. Окрім вентиляційних обмежень, архітектурні особливості приміщення характеризуються повною відсутністю безпосереднього природного інсолювання. Забезпечення нормованих показників освітленості робочих зон тут досягається комплексно: за рахунок сучасної системи штучних джерел світла, а також шляхом інтеграції раніше розробленої системи пасивного природного освітлення із застосуванням сонячних світловодів, що оптимізує добовий графік електроспоживання.

У цій роботі запропоновано інноваційне технічне рішення, що передбачає інтеграцію функцій очищення повітря за допомогою електростатичного фільтра (ЕСФ) із системою природного інсоляційного освітлення на базі дзеркальних світловодів. У межах цієї концепції дифузор світловода та ЕСФ, який

функціонує за рахунок природних конвективних потоків приміщення, конструктивно поєднані в єдиний пристрій, рисунок 2.29.

Результати аеродинамічних досліджень свідчать, що максимальні швидкості конвективних повітряних мас спостерігаються у підстельовому просторі – саме в зоні локалізації та монтажу дифузора. Завдяки цьому уловлювання та фільтрація пилу з повітряного середовища відбуваються з максимальною кінетичною ефективністю. Реалізація такого інтегрованого

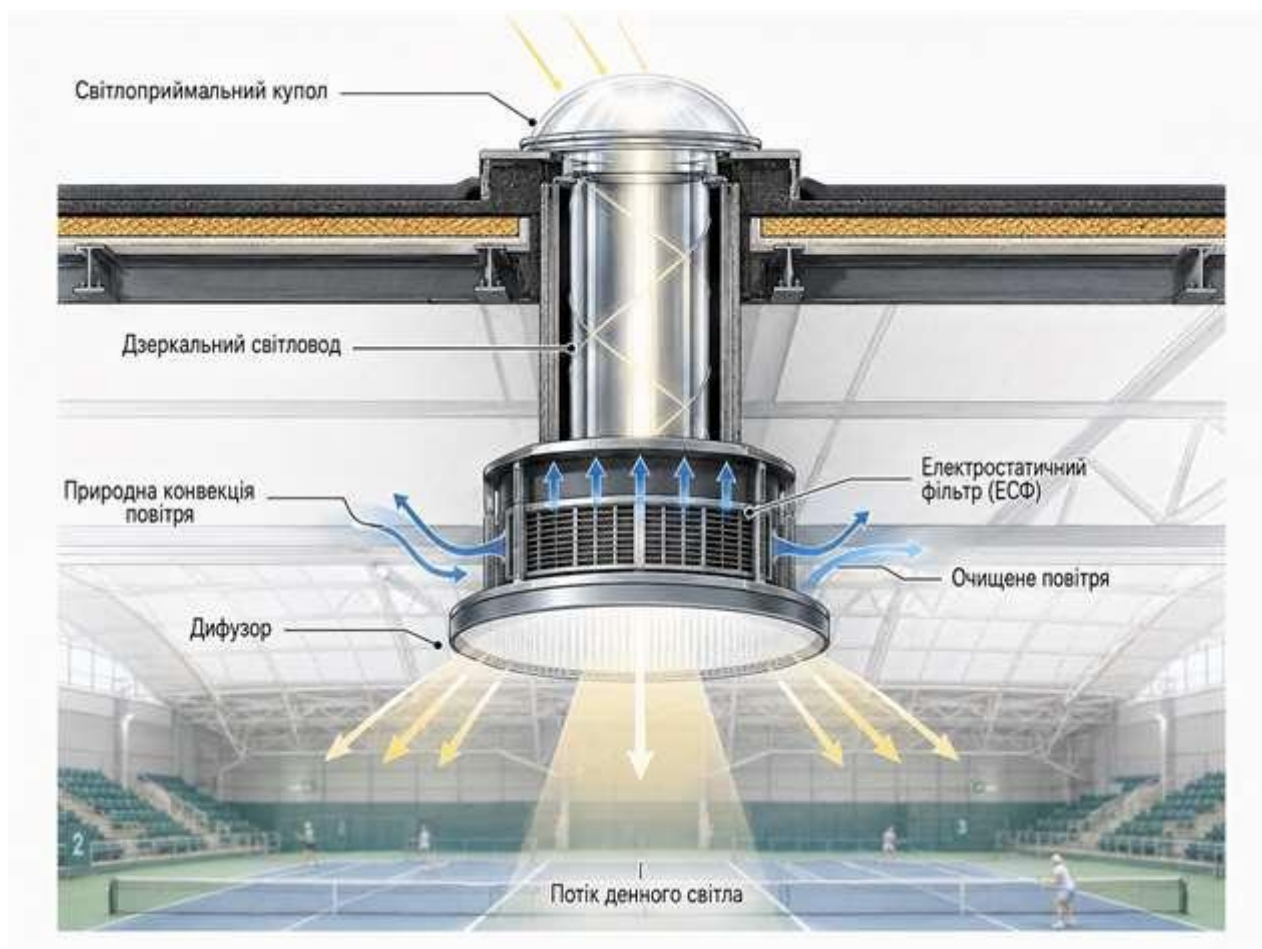


Рисунок 2.29 – Будова системи очищення повітря

підходу забезпечує синергетичний ефект, який полягає у суттєвому зниженні питомого енергоспоживання як на штучне освітлення, так і на санітарно-гігієнічне очищення повітря в закритих спорудах.

Таким чином, процес очищення внутрішнього повітряного об'єму будівлі інтенсифікується шляхом утилізації природної теплової конвекції, яка виникає всередині замкнутого простору. При цьому конструктивні елементи апарата

очищення доцільно агрегатувати з пристроями, загальна електрична потужність яких не перевищує 150 Вт (що витрачається переважно на підтримання високовольтного потенціалу на осаджувальних електродах). Функціонування комплексу в режимі безперервної рециркуляції дозволяє стабільно знижувати концентрацію дрібнодисперсного пилу. Оскільки сумарні енергетичні витрати на роботу електростатичного контуру є мінімальними, система здатна функціонувати в цілодобовому режимі, забезпечуючи безперервне підтримання нормативних показників чистоти повітряного середовища на заданому рівні.

2.5 Висновки до розділу 2

1. За допомогою комп'ютерного моделювання у програмному комплексі DIALux EVO досліджено особливості розподілу природного й штучного освітлення в приміщеннях спортивно-громадської будівлі тенісного центру, що підтвердило відповідність проєктованих показників чинним нормативним вимогам.

2. Обґрунтовано технічні параметри, склад обладнання та алгоритми функціонування автоматизованої системи керування мікрокліматом і освітлення автоматизованої системи керування мікрокліматом і освітленням об'єкта, яка працює під керівництвом програмованого логічного контролера та забезпечується енергією від малої сонячної електростанції потужністю 12,6 кВт.

3. Запропоновано інноваційне технічне рішення у вигляді комбінованого пристрою, що конструктивно поєднує дифузор дзеркального світловода та електростатичний фільтр, забезпечуючи синергетичний ефект одночасного освітлення закритих приміщень денним світлом і очищення повітря за рахунок природної термічної конвекції.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

Закритими просторами вважають приміщення, у яких природне освітлення відсутнє або є настільки незначним, що не забезпечує необхідних умов для перебування людини. До приміщень без природного освітлення належать такі, де коефіцієнт природної освітленості становить близько 0,1 % або менше.

Під час проектування та зведення будівель не завжди можливо передбачити віконні прорізи чи вітражні системи в кожному приміщенні. Особливо це стосується кімнат, розташованих у глибині будівлі. Зазвичай такі приміщення мають технічне, допоміжне або складське призначення. Водночас на практиці трапляються проєктні недоліки, коли приміщення, у яких люди перебувають протягом тривалого часу, не мають достатньої кількості вікон або взагалі не забезпечуються необхідним рівнем природного освітлення.

3.1. Вимоги до забезпечення нормованої освітленості приміщень

Основні вимоги до освітлення житлових, громадських і виробничих будівель визначаються чинними українськими будівельними нормами, зокрема документами, що регламентують природне та штучне освітлення. Одним із ключових показників є освітленість E , яка вимірюється в люксах.

Освітленість визначається як відношення світлового потоку $d\Phi$, що падає на певну ділянку поверхні, до площі цієї ділянки dA :

$$E = d\Phi / dA \quad (3.1)$$

Нормований рівень освітленості встановлюється для робочої поверхні або конкретного робочого місця з урахуванням типу приміщення, характеру виконуваних робіт, джерел світла та освітлювальних приладів. Такий рівень має

підтримуватися протягом усього часу експлуатації приміщення або протягом робочого дня.

Під час проєктування освітлення враховують такі параметри:

- призначення приміщення;
- тривалість перебування людей;
- розташування робочих зон;
- тип джерел світла;
- рівномірність освітлення;
- наявність природного освітлення;
- вимоги до безпеки та зорового комфорту.

До супровідних нормативних документів, які застосовуються при проєктуванні систем освітлення та електропостачання, належать українські будівельні норми, правила улаштування електроустановок, стандарти з електробезпеки, а також інші чинні документи, що регламентують монтаж, експлуатацію та безпечне використання електричних мереж і освітлювального обладнання.

3.2. Методи забезпечення коефіцієнта природної освітленості при – міщень

Коефіцієнт природної освітленості, або КПО, характеризує рівень забезпечення приміщення денним світлом.

На рівень природного освітлення в приміщенні впливає низка чинників.

1. Розміщення та розміри світлових прорізів.

Чим більша площа вікон, вітражів або інших світлопрозорих конструкцій, тим більше природного світла надходить у приміщення. Позитивно впливає також збільшення кількості світлових прорізів. Найефективнішим є розташування вікон якомога ближче до рівня стелі, оскільки це сприяє глибшому проникненню денного світла всередину приміщення.

2. Характеристики скління.

На світлопропускання впливають кількість шарів скла у склопакеті, наявність тонувальних, сонцезахисних або світловідбивних плівок, а також загальний стан поверхні скла. Чим більше перешкод на шляху світлового потоку, тим нижчим буде фактичний рівень природного освітлення.

3. Забруднення світлових прорізів.

Пил, бруд, атмосферні відкладення та недостатнє очищення вікон помітно знижують кількість світла, що потрапляє всередину приміщення. Тому регулярне обслуговування скління є важливим фактором підтримання нормативного рівня освітленості.

4. Тип віконної конструкції.

Матеріал рами, ширина профілю та конструкція палітурок впливають на фактичну площу світлового прорізу. Масивні дерев'яні рами з роздільними палітурками зазвичай пропускають менше світла, ніж конструкції з тоншим профілем. Найкращі показники світлопропускання характерні для вікон з мінімальною шириною рам і раціональною конструкцією скління.

5. Колір внутрішнього оздоблення.

Світлі поверхні стін, стелі, підлоги та меблів краще відбивають світло, тому сприяють підвищенню рівня природної освітленості. Темні кольори, навпаки, поглинають значну частину світлового потоку, через що приміщення візуально здається менш освітленим. Саме тому під час світлотехнічних розрахунків обов'язково враховують коефіцієнти відбиття внутрішніх поверхонь.

6. Розташування будівлі в навколишньому середовищі.

На освітленість приміщень впливають орієнтація будівлі за сторонами світу, траєкторія руху Сонця протягом дня і року, а також наявність сусідніх будівель, дерев, навісів та інших об'єктів, які можуть затінювати світлові прорізи.

Розрахункове значення КПО визначають залежно від типу природного освітлення:

- через бічні світлові прорізи;
- через верхні світлові прорізи;
- за комбінованої системи освітлення.

Для бічного освітлення враховують геометричний КПО, світло від ділянок небосхилу, відбите світло від навколишньої забудови, коефіцієнт світлового клімату, світлопропускання скління, експлуатаційні втрати та відбиття світла від внутрішніх поверхонь приміщення.

Для верхнього освітлення беруть до уваги кількість світлових отворів у покритті, їхню площу, тип ліхтарів, коефіцієнти світлопропускання, відбиття світла від поверхонь приміщення та експлуатаційний стан конструкцій.

За комбінованого освітлення загальне розрахункове значення КПО визначається як сума складових, отриманих від верхнього та бічного природного освітлення:

$$e_p^{\bar{o}} = C_N \left(\sum_{i=1}^L \varepsilon_{\bar{o}i} q_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{\bar{o}y\bar{o}j} b_{\phi j} k_{\bar{o}y\bar{o}j} \right) r_0 \tau_0 MF; \quad (3.2)$$

$$e_p^B = C_N \left[\sum_{i=1}^T \varepsilon_{vi} + \varepsilon_{cep} (r_2 k_{\phi} - 1) \right] r_0 MF; \quad (3.3)$$

$$e_p^K = e_p^B + e_p^{\bar{o}} \quad (3.4)$$

де:

e_p^K – коефіцієнт природної освітленості за комбінованої системи;

e_p^B – складова КПО від верхнього освітлення;

$e_p^{\bar{o}}$ – складова КПО від бічного освітлення.

Під час розрахунків також використовують такі показники:

L – кількість видимих ділянок небосхилу;

$\varepsilon_{\bar{o}i}$ – геометричний коефіцієнт природної освітленості;

C_N – коефіцієнт світлового клімату;

q_i – нерівномірність яскравості неба;
 M – вплив протилежної забудови;
 $b_{\phi j}$ – середню відносну яскравість фасадів сусідніх будівель;
 r_0 – коефіцієнт підвищення КПО за рахунок відбитого світла ;
 τ_0 – загальний коефіцієнт світлопропускання ;
 MF – коефіцієнт експлуатації;
 T – тип світлового ліхтаря або світлопрозорої конструкції;
 $k_{\text{буд}j}$ – коефіцієнт, який враховує змін внутрішнього відбитого КПО в приміщенні при закритому небосхилі, визначається за формулою:

$$k_{\text{буд}j} = 1 + \left(k_{\text{буд}0} - 1 \right) \frac{\sum_{j=1}^M \varepsilon_{\text{буд}j}}{\sum_{i=1}^L \varepsilon_{\text{oi}} + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{\text{буд}j}}, \quad (3.5)$$

Загальний коефіцієнт світлопропускання τ_0 можна подати як добуток окремих коефіцієнтів, що враховують втрати світла на різних етапах його проходження через конструкцію:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5 \quad (3.6)$$

де:

τ_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу ;
 τ_2 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у віконних рамах і палітурках ;
 τ_3 – коефіцієнт втрат у несучих конструкціях;
 τ_4 – коефіцієнт втрат у сонцезахисних пристроях;
 τ_5 – коефіцієнт втрат у захисних сітках або додаткових елементах світлових прорізів.

Середнє значення КПО при верхньому або комбінованому освітленні визначають за результатами розрахунку в декількох контрольних точках характерного перерізу приміщення.

$$\varepsilon_{\text{сер}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_{\text{вi}}; \quad (3.7)$$

3.3 Природна інсоляція як чинник енергоефективності та оптимізації життєвого середовища

Світлове середовище є одним із важливих чинників, що впливають на якість перебування людини в будівлі. Воно формується сукупністю умов при – родного освітлення конкретної місцевості: рівнем освітленості горизонтальних і вертикальних поверхонь, інтенсивністю розсіяного світла неба, прямим сонячним випромінюванням, тривалістю сонячного саява та відбивними властивостями навколишньої поверхні.

Природне світло має не лише зорове, а й біологічне значення. Воно впливає на добові ритми людини, бере участь у формуванні біологічного годинника та позначається на фізіологічному й психологічному стані. У денний час світло активізує організм, підтримує працездатність і концентрацію уваги. Його зменшення або відсутність, навпаки, є природним сигналом до відпочинку.

Дослідження умов праці та перебування людей у закритих приміщеннях показують, що нестача природного світла може негативно впливати на самопочуття, настрої і продуктивність. Людина, яка тривалий час перебуває у просторі без денного освітлення, частіше відчуває втому, пригнічення, зниження концентрації та психологічний дискомфорт.

Основним джерелом природного освітлення є Сонце. Сонячне випромінювання, проходячи крізь атмосферу Землі, частково розсіюється водяною парою, пилом, кристалами льоду, газами та іншими частинками. Завдяки цьому в приміщення надходить не лише пряме, а й розсіяне світло небосхилу. Рух Сонця протягом дня і року має закономірний характер, тому його можна враховувати під час архітектурного та світлотехнічного проєктування.

У будівлях найчастіше використовують дві основні системи природного освітлення.

1. Бічне природне освітлення.

Це найпоширеніший спосіб освітлення приміщень, який реалізується за допомогою звичайних вікон, вітражів або інших світлопрозорих елементів у зовнішніх стінах. Така система застосовується в житлових, громадських, адміністративних і виробничих будівлях.

2. Верхнє природне освітлення.

Ця система передбачає надходження світла через світлові ліхтарі, прозорі ділянки покриття або інші конструкції, розташовані у верхній частині будівлі. Вона особливо ефективна для одноповерхових промислових, торговельних, виставкових і громадських споруд великої площі.

На практиці природного освітлення не завжди достатньо для забезпечення нормативних показників протягом усього робочого дня. У таких випадках застосовують суміщене освітлення, тобто поєднання природного та штучного світла.

Суміщене освітлення – це система, за якої недостатній рівень природного освітлення доповнюється штучним освітленням для досягнення нормативних значень.

Середнє значення КПО при верхньому або комбінованому освітленні визначають за кількома контрольними точками характерного розрізу приміщення. При цьому враховують значення КПО у першій, останній та проміжних точках. Такий підхід дає змогу оцінити не лише загальний рівень природного освітлення, а й рівномірність його розподілу всередині приміщення.

$$e_{\text{сер}} = \frac{1}{N-1} \left(\frac{e_1 + e_N}{2} + \sum_{i=2}^{N-1} e_i \right), \quad (3.8)$$

де:

e_1, e_N – значення КПО при верхньому чи комбінованому освітленні у першій і останній точках характерного зрізу приміщення;

e_i – значення КПО в інших точках характерного зрізу приміщення ($i=2, 3, \dots, N-1$).



Рисунок 3.1 – Бічне природне освітлення приміщення.



Рисунок 3.2 – Верхнє природне освітлення приміщення.

3.4 Висновки до розділу 3

3.1. Проаналізовано чинні українські будівельні норми, правила улаштування електроустановок та стандарти з електробезпеки, які регламентують проектування систем освітлення. Встановлено, що ключовим критерієм оцінки є рівень освітленості робочої поверхні (в люксах), який визначається як відношення світлового потоку до площі поверхні, на яку він падає.

3.2. Досліджено комплекс чинників, що безпосередньо впливають на коефіцієнт природної освітленості (КПО) приміщення. До них належать розміри та розміщення світлових прорізів, характеристики й рівень забруднення скління, особливості віконних рам, колір внутрішнього оздоблення поверхонь, а також орієнтація будівлі та наявність зовнішніх об'єктів затінення.

3.3. Розглянуто математичний апарат для оцінки світлового середовища приміщень залежно від обраної системи освітлення (бічної, верхньої чи комбінованої). Сформовано методику визначення середнього значення КПО в контрольних точках, а також розрахунку загального коефіцієнта світлопропускання з урахуванням втрат у рамах, несучих конструкціях та сонцезахисних пристроях.

3.4. Обґрунтовано біологічний та психологічний вплив природної інсоляції на життєдіяльність людини. Підтверджено, що тривале перебування в закритих просторах з незадовільним рівнем або повною відсутністю денного світла (де КПО становить близько 0,1% або менше) критично знижує працездатність, прискорює втому та викликає психологічний дискомфорт.

3.5. Визначено специфіку застосування бічної та верхньої систем денного світла в архітектурному проектуванні. Доведено доцільність використання суміщеного освітлення як ефективного інструменту доповнення недостатнього природного світла штучним для забезпечення нормативних показників протягом усього робочого дня.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Заходи щодо охорони праці в умовах комбінованого освітлення приміщень

Природне освітлення поділяється на: бокове (одно- або двохстороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє, здійснюване через ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях; комбіноване — поєднання верхнього та бокового освітлення.

На рівень освітленості приміщення при природному освітленні впливають наступні чинники: світловий клімат; площа та орієнтація світлових отворів; ступінь чистоти скла в світлових отворах; пофарбування стін та стелі приміщення; глибина приміщення; наявність предметів, що заступають вікно як зсередини так і з зовні приміщення.

Оскільки природне освітлення непостійне впродовж дня, кількісна оцінка цього виду освітлення проводиться за відносним показником – коефіцієнтом природнього освітлення (КПО)

Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень в темний період доби. При організації штучного освітлення необхідно забезпечити сприятливі гігієнічні умови для зорової роботи і одночасно враховувати економічні показники.

На робочих місцях встановлюються світильники місцевого освітлення ($e = 2\%$). В місцях де постійно працюють робітники застосовують люмінесцентні Штучне освітлення використовується двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення - освітлення, при якому світильники розміщуються у

верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місцеве освітлення - освітлення,

яке створюється світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Таблиця 4.1 – Нормування освітленості

Характеристика зорової роботи	Найменший об'єкт розрізнення, мм	Розділ зорової роботи	Підрозділ роботи	Контраст об'єкту розрізнення з фоном
Середньої точності	Більше 0,5 до 1	IV	а	малий
Характеристика фону	Освітленість, лк		КЕО E_H %	
	Штучне освітлення		Природне освітлення	Сумісне освітлення
	Комбіноване	Загальне		
малий	750	300	2	1

Щоб зменшити ефект пульсації світлового потоку, сусідні світильники включають на різні фази мережі. Освітлення сучасних електромеханічних та ремонтно-механічних цехів реалізують за допомогою прожекторів із галогеновими лампами. Освітленість робочих місць при застосуванні ламп розжарювання повинна бути не менше 10 лк. Черговий та оперативний персонал повинен бути забезпечений додатковими акумуляторними ліхтарями.

4.2 Правила техніки безпеки при експлуатації систем очищення повітря та аспірації

Експлуатація систем очищення повітря супроводжується наявністю постійних та потенційних ризиків, зумовлених конструктивними особливостями обладнання та фізико-хімічними властивостями речовин, що підлягають уловлюванню. Комплексна оцінка та класифікація факторів небезпеки є основою для розробки превентивних технічних заходів.

Безпечний стан систем очищення повітря забезпечується безперервним контролем їхньої герметичності та відповідності робочих параметрів проектним показникам. Будь-яке відхилення від норми розглядається як передумова до виникнення небезпечної ситуації.

Обов'язковою умовою пуску є попередній візуальний та інструментальний контроль цілісності корпусів, надійності фіксації інспекційних дверей та люків, а також функціонування запірно-регулюючої арматури. Робота установок із відключеними або несправними системами автоматичного очищення (регенерації) фільтрувальних елементів, а також наявності видимих витоків запиленого повітря у виробниче приміщення є неприпустимою та тягне за собою зупинку пов'язаного технологічного процесу.

Пил, шлами та хімічні осадки, що накопичуються в процесі очищення повітря, представляють значну загрозу через можливість вторинного пилоутворення, токсичного впливу на організм або самозаймання. Процеси спорожнення збірних бункерів мають бути максимально ізольованими від навколишнього середовища.

Персонал, залучений до вивантаження, пакування та транспортування затриманих речовин, забезпечується спеціальним захисним одягом із пиловідштовхувальним покриттям, захисними окулярами закритого типу та засобами захисту органів дихання з відповідним ступенем фільтрації (не нижче FFP3). Використані фільтрувальні елементи (картриджі, активоване вугілля, текстильні рукава) після демонтажу підлягають негайному герметичному пакуванню в щільну тару для запобігання поширенню небезпечних речовин по території підприємства під час їхнього переміщення до місця утилізації.

Своєчасне виявлення ознак порушення нормального режиму роботи аспіраційного обладнання є критично важливим для локалізації небезпеки. До ознак, що вимагають негайного реагування, відносяться: різке зростання або падіння диференційного тиску, поява сторонніх звуків та підвищеної вібрації в корпусах вентиляторів, різке підвищення температури очищуваного газу, а також спрацьовування датчиків задимлення чи іскріння.

У разі виявлення будь-якого з перелічених факторів, оператор або відповідальна особа здійснює екстрену зупинку системи відповідно до загальнозаводського плану ліквідації аварій. Подальший допуск людей у зону аварії для з'ясування причин чи локалізації наслідків дозволяється лише після перевірки складу повітряного середовища на наявність токсичних або вибухонебезпечних газів та за умови обов'язкового використання автономних чи ізолюючих засобів індивідуального захисту.

4.3 Пожежна безпека

У всіх випадках для горіння характерні три стадії: виникнення, поширення та згасання полум'я. Найбільш загальними властивостями горіння є здатність осередку полум'я пересуватися по всій горючій суміші шляхом передачі тепла або дифузії активних частинок із зони горіння в свіжу суміш. Звідси виникає й механізм поширення полум'я, відповідно тепловий та дифузійний. Горіння, як правило, проходить за комбінованим теплодифузійним механізмом.

В залежності від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин і матеріалів пожежі, за ГОСТ 27331-87 «Пожарная техника. Классификация пожаров», поділяються на відповідні класи та підкласи:

клас А - горіння твердих речовин, що супроводжується (підклас А1) або не супроводжується (підклас А2) тлінням;

клас В - горіння рідких речовин, що не розчиняються (підклас В2) у воді;

клас С - горіння газів;

клас Д - горіння металів легких, за винятком лужних (підклас Д1);

лужних (підклас Д2), а також металовмісних сполук (підклас Д3);

клас Е - горіння електроустановок під напругою.

Для виникнення горіння необхідна одночасна наявність трьох чинників - горючої речовини, окислювача та джерела запалювання. При цьому, горюча речовина та окисник повинні знаходитися в необхідному співвідношенні один до

одного і утворювати таким чином горючу суміш, а джерело запалювання повинно мати певну енергію та температуру, достатню для початку реакції. Горючу суміш визначають терміном «горюче середовище». Це - середовище, що здатне самостійно горіти після видалення джерела запалювання. Для повного згорання необхідна присутність достатньої кількості кисню, щоб забезпечити повне перетворення речовини в його насичені оксиди. При недостатній кількості повітря окислюється тільки частина горючої речовини. Залишок розкладається з виділенням великої кількості диму. В цих умовах також утворюються токсичні речовини, серед яких найбільш розповсюджений продукт неповного згорання - оксид вуглецю (СО), який може призвести до отруєння людей. На пожежах, як правило, горіння відбувається за браком окисника, що серйозно ускладнює пожежегасіння внаслідок погіршення видимості або наявності токсичних речовин у повітряному середовищі. Горіння може бути гомогенним та гетерогенним.

При гомогенному горінні речовини, що вступають в реакцію окиснення, мають однаковий агрегатний стан - газо- чи пароподібний.

Якщо початкові речовини знаходяться в різних агрегатних станах і наявна межа поділу фаз в горючій системі, то таке горіння називається гетерогенним.

Як уже зазначалось, відповідно до ГОСТ 12.1.004 - 91 «Пожарная безопасность» вибухопожежна безпека об'єкта забезпечується системами:

- попередження вибухів і пожеж;
- протипожежного та противибухового захисту;
- організаційно-технічних заходів.

Система попередження вибухів і пожеж має за мету не допустити виникнення вибухів і пожеж.

Заходи і засоби попередження утворення горючого середовища в кожному конкретному випадку визначаються реальними умовами, що розглядаються, вибухопожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що використовуються у технологічному циклі.

Попередження утворення горючого середовища може забезпечуватись загальними заходами або їх комбінаціями, що наведені в ГОСТ 12.1.007 – 76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».

Найбільш радикальним заходом попередження утворення горючого середовища є заміна горючих речовин і матеріалів, що використовуються, на негорючі та важкогорючі.

Тому попередження виникнення в горючому середовищі або внесення до нього джерел запалювання є головним стратегічним пріоритетом у роботі щодо запобігання пожежам. Джерелом запалювання може бути нагріте тіло чи екзотермічний процес, які здатні нагріти деякий об'єм горючої суміші до температури, коли швидкість тепловиділення ініційованого нагрівом процесу окислення перевищує швидкість тепловідводу із зони реакції.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра виконано комплексне дослідження, розрахунок та проектування енергозберігаючої системи штучного й природного освітлення, а також пасивного очищення повітря для громадсько - спортивної будівлі тенісного центру в місті Києві.

На основі отриманих результатів сформовано такі загальні висновки:

1. Проаналізовано чинну нормативно-правову базу України (зокрема Закон «Про енергетичну ефективність», ДБН В.2.5-28:2018 та ДБН В.2.5-67:2013) і світовий досвід інженерного забезпечення споруд. Встановлено, що витрати на вентиляцію та штучне освітлення сумарно складають значну частку енергобалансу будівель, що підтверджує високий потенціал упровадження альтернативних джерел енергії та пасивних систем життєзабезпечення.

2. За допомогою програмного комплексу **DIALux EVO** створено цифрову модель «Центру Тенісу» площею до 15 000 м². Розрахунки коефіцієнта природної освітленості (КПО) показали, що за найнесприятливіших умов (похмура погода) рівень КПО у кабінетах становить **6,943%**, що ушестеро перевищує нормативний мінімум і дозволяє суттєво обмежити використання штучного світла в денний час.

3. Для компенсації браку світла над кортами інтегровано 29 енергоефективних LED-світильників *Philips GentleSpace gen3* (75 Вт) із загальним навантаженням системи освітлення на рівні 11 кВт. Для досягнення автономності розроблено дахову міні-СЕС потужністю **12,6 кВт**, яка містить 28 монокристалічних панелей (по 450 Вт), трифазний гібридний інвертор (12 кВт) та літій-залізо-фосфатну (LiFePO₄) акумуляторну батарею ємністю **20 кВт·год**. Ця конфігурація забезпечує до 2 годин повноцінної автономної роботи при максимальному навантаженні.

4. Розроблено дворівневу архітектуру автоматизованої системи керування (АСК) на базі програмованого логічного контролера (ПЛК) та диспетчеризації через SCADA/MQTT. Завдяки інтеграції датчиків освітленості, присутності,

температури, вологості та концентрації CO_2 мінімізовано антропогенний чинник: система автоматично димує світлодіодні світильники та регулює режими припливно-витяжної вентиляції.

5. Запропоновано та аеродинамічно обґрунтовано комбіноване технічне рішення - інтегрований пристрій, що конструктивно об'єднує дифузор дзеркального сонячного світловода та електростатичний фільтр (ЕСФ). Пристрій утилізує кінетичну енергію природних конвективних (теплових) потоків, які піднімаються у підстельовий простір від обладнання та людей. Це дозволяє здійснювати безперервне безвентиляторне очищення повітря від дрібнодисперсного пилу з мінімальними витратами електроенергії (лише на підтримання потенціалу осаджувальних пластин).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.

2. Коваль В. П. Фотоелектрична станція для забезпечення власних потреб / Вадим Петрович Коваль, Д. Ф. Паловці, Abul Kalam Azad // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи“, 29-31 травня 2024 року. – Т. : ТНТУ, 2024. – С. 85-86.

3. Бурмака В. Підвищення енергоефективності використання суміщеного освітлення для сходових кліток / Віталій Бурмака, Микола Тарасенко // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій» присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. – Т. : ФОП Паляниця В. А., 2019. — С. 273-277.

4. Кожушко Г. М., Шпак О. В. Системи штучного та природного освітлення будівель: Навчальний посібник. — Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. — 184 с.

5. Сорокін В. М., Степаненко В. О. Енергоефективні світлодіодні системи освітлення: монографія. — Київ : Наукова думка, 2020. — 210 с.

6. Мартинов В. Л., Попов О. Р. Енергозберігаючі технології в будівництві та архітектурі. — К. : КНУБА, 2021. — 156 с.

7. Прістер Б. С., Бар'яхтар В. Г. Безпека життєдіяльності та очищення повітряного середовища в приміщеннях. — Чорнобиль : Інститут проблем безпеки АЕС, 2018. — 240 с.

8. Назаренко В. О., Кравченко І. М. Використання zenітних ліхтарів для оптимізації природного освітлення виробничих будівель. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2021. Вип. 38. С. 45–52.

9. Савченко О. В. Енергоефективність порожнистих дзеркальних світловодів у системах освітлення цивільних споруд. Енергоефективність в будівництві та архітектурі. 2022. № 14. С. 22–29.
10. Ткаченко Т. М., Мірошніченко С. П. Комбіновані системи природного освітлення із застосуванням світловодів. Екологічна безпека та природокористування. 2020. № 3 (35). С. 88–96.
11. Бондар А. А., Сидоренко М. В. Інтеграція систем очищення повітря в елементи освітлювального обладнання. Технічна електродинаміка. 2023. № 2. С. 67–74.
12. Клименко Ю. О. Математичне моделювання світлорозподілу трубчастих світловодів. Світлотехніка та електроенергетика. 2019. № 1. С. 12–18.
13. Шевченко Д. І. Застосування фотокаталітичного очищення повітря суміщено з УФ-випромінювачами в системах вентиляції та освітлення. Вісник КНУБА. Серія: Технічні науки. 2021. Вип. 84. С. 112–120.
14. Лисенко О. М., Антонова К. В. Зенітні ліхтарі як елемент пасивного енергозбереження в сучасній архітектурі. Сучасні технології будівельного виробництва. 2020. № 29. С. 41–48.
15. Мельник В. П. Розрахунок природного освітлення приміщень при використанні систем верхнього світла. Будівельні конструкції. 2022. Вип. 86. С. 143–151.
16. Федоренко С. В., Василенко Р. О. Автоматизація керування суміщеним освітленням із використанням природних світловодів. Автоматизація виробничих процесів. 2023. № 1 (53). С. 34–41.
17. Jenkins D. P., Hull D. E. The performance of tubular daylight guide systems under UK climatic conditions. *Solar Energy*. 2018. Vol. 169. P. 451–462.
18. Wong I. L. Review of daylighting design and technology in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 71. P. 130–146.
19. Mayhoub M. S. Daylight applications using light guide systems: A review. *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 191. P. 56–72.
20. Hunter M., Smith J. Integrated lighting and air purification systems using UV-C LED technology: efficiency and safety. *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 48. Art. 103982.