

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Підвищення ефективності системи енергопостачання будинку за рахунок застосування фасадних панелей з інтегрованими фотоелектричними перетворювачами**

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕТМ-61

напряму підготовки (спеціальності)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	_____	Бендюг Ю.М.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	Белякова І.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	Мовчан Л.Т.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	Тарасенко М.Г.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	Габрусєва І.Ю.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

РЕФЕРАТ

Обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 74 сторінки. В роботі міститься 44 рисунка, 25 формул і 4 таблиці.

Сучасні технології будівництва дозволяють створювати огорожуючі конструкції, які виконують теплозахисну і енергогенеруючу функції одночасно.

Робота по розробці ефективних огорожувальних конструкцій із використанням поновлюваних джерел енергії дозволить значно знизити енергоспоживання та підвищити ефективність роботи енергетичних систем на основі поновлюваних джерел енергії.

У зв'язку з цим актуальним є створення технологій енергозабезпечення будинків на основі поновлюваних джерел енергії.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності систем енергопостачання будинку за рахунок застосування фотоелектричних сонячних перетворювачів інтегрованих у енергоефективну вентилявану фасадну панель.

Об'єктом дослідження є система використання поновлюваних джерел енергії для енергопостачання та створення теплової оболонки навколо будівлі за допомогою вентиляваних фасадних конструкцій.

Предметом дослідження є вплив систем поновлювальної енергетики на зниження витрат на опалення та вентиляцію в будівлях зі штучним повітряним прошарками.

Перелік ключових слів:

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ СОНЯЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ, ВЕНТИЛЬОВАНА ФАСАДНА ПАНЕЛЬ, ПОНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Сучасний стан проблеми і основні проблеми використання відновлюваних джерел енергії в Україні та світі.....	8
1.2 Огляд технологій енергозабезпечення будівель з допомогою відновлюваних джерел енергії.....	13
1.3 Фотоелектричні модулі інтегровані в огорожувальні конструкції будинків.....	18
1.4 Висновки до розділу 1.....	24
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	25
2.1 Параметри будівлі.....	25
2.2 Моделювання вентиляованої фасадної панелі в SOLIDWORKS.....	26
2.3 Моделювання зовнішніх умов і оцінка їх впливу на енергетичні ресурси відновлювальних джерел енергії.....	29
2.3.1 Моделювання інтенсивності сонячного випромінювання.....	30
2.3.2 Моделювання зміни температури навколишнього середовища та швидкості вітру.....	33
2.3.3 Моделювання орієнтації модулів з врахуванням розсіювання сонячної радіації.....	36
2.4 Висновки до розділу 2.....	41

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	34
3.1 Концепція створення систем енергозабезпечення на основі вентильованих фасадів.....	43
3.2 Проектування сонячної електростанції як основного елемента системи енергопостачання будинку.....	49
3.2.1 Характеристика сонячної електростанції.....	48
3.2.2 Методи і результати експериментального дослідження фотоелектричних перетворювачів.....	53
3.3 Висновки до розділу 3.....	62
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
4.1 Аналіз факторів ризику при експлуатації систем сонячного теплопостачання.....	63
4.2 Заходи для забезпечення електробезпеки.....	64
4.3 Заходи для запобігання виникнення пожежі.....	66
4.4 Фактори, що впливають на протипожежну стійкість об'єкту.....	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	71
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	72

ВСТУП

Актуальність теми. Відновлювана енергетика є галуззю, що динамічно розвивається в багатьох країнах. Наприклад, відповідно до стратегії ЄС, до 2050 року Євросоюз планує повністю відмовитися від нафти, газу і вугілля на користь відновлюваної енергетики. З 2023 року в Берліні вступає в силу закон, що зобов'язує забудовників встановлювати сонячні батареї на дахах або фасадах всіх столичних будівель.

В Україні за останній рік видобуток вугілля і нафти скоротився більш ніж на 5%. Частка ВДЕ сьогодні становить близько 10% в загальному енергобалансі країни, при сприятливому прогнозі частка ВДЕ може зрости до 15% до 2035 року.

Основну частку енергії складає сонячна і геотермальна енергія. За оцінками експертів, потенціал сонячної енергетики в Україні оцінюється в 2300 млрд дол. т.у.т. Ресурсний потенціал геотермальної енергії визнаний невичерпним, як і сонячна енергія.

Розвиток сучасних технологій в сфері сонячної енергетики і будівництва дозволив створювати огорожуючі конструкції, що виконують теплозахисну і енергогенеруючу функції одночасно. Висока ефективність відновлюваних джерел енергії в будівлях досягається в разі використання огорожувальних конструкцій з високими теплоізоляційними характеристиками. Оскільки внесок відновлюваної енергії часто обмежений з різних причин, будівля повинна мати найменші втрати енергії. Найбільший синергетичний ефект від використання відновлюваних джерел енергії досягається тоді, коли відбувається комплексна оптимізація характеристик енергоспоживача та джерела енергії.

Спільна робота з розробки ефективних огорожувальних конструкцій та впровадження відновлюваних джерел енергії для експлуатації інженерних систем будівель і споруд дозволить значно знизити енергоспоживання та підвищити ефективність роботи енергетичних систем на основі поновлюваних джерел енергії.

У зв'язку з цим актуальним є створення технологій енергозабезпечення будинків на основі поновлюваних джерел енергії.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності систем енергопостачання будинку за рахунок застосування фотоелектричних сонячних перетворювачів інтегрованих у енергоефективну вентилявану фасадну панель.

Об'єктом дослідження є система використання поновлюваних джерел енергії для енергопостачання та створення теплової оболонки навколо будівлі за допомогою вентиляваних фасадних конструкцій.

Предметом дослідження є вплив систем поновлювальної енергетики на зниження витрат на опалення та вентиляцію в будівлях зі штучним повітряним прошарками.

Апробація роботи. Бендюг Ю.М. Обґрунтування доцільності встановлення сонячних систем енергозабезпечення на фасадах будинків. // І.В. Белякова, В.І. Гетманюк, Ю.М. Бендюг // Збірник тез доповідей. Матеріали XI міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 7 - 8 грудня 2022р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2022.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, переліку посилань (27 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини – 74 сторінки, 4 таблиці, 44 рисунки.

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Сучасний стан проблеми і основні проблеми використання відновлюваних джерел енергії в Україні та світі

На сьогодні проблема економії енергоресурсів особливо актуальна в світовому співтоваристві. Розвинені країни при вирішенні цієї проблеми намагаються зменшити питоме енергоспоживання і збільшення використання відновлюваних джерел енергії.

Основними факторами, що впливають на розвиток відновлюваної енергетики в світі, є:

- скорочення паливних ресурсів;
- зростання вартості викопного палива;
- швидке зростання населення земної кулі;
- збільшення енерговитрат;
- підвищення температури біосфери;
- необхідність скорочення викидів парникових газів тощо.

На рисунку 1.1 [1] можна спостерігати різке збільшення чисельності населення.

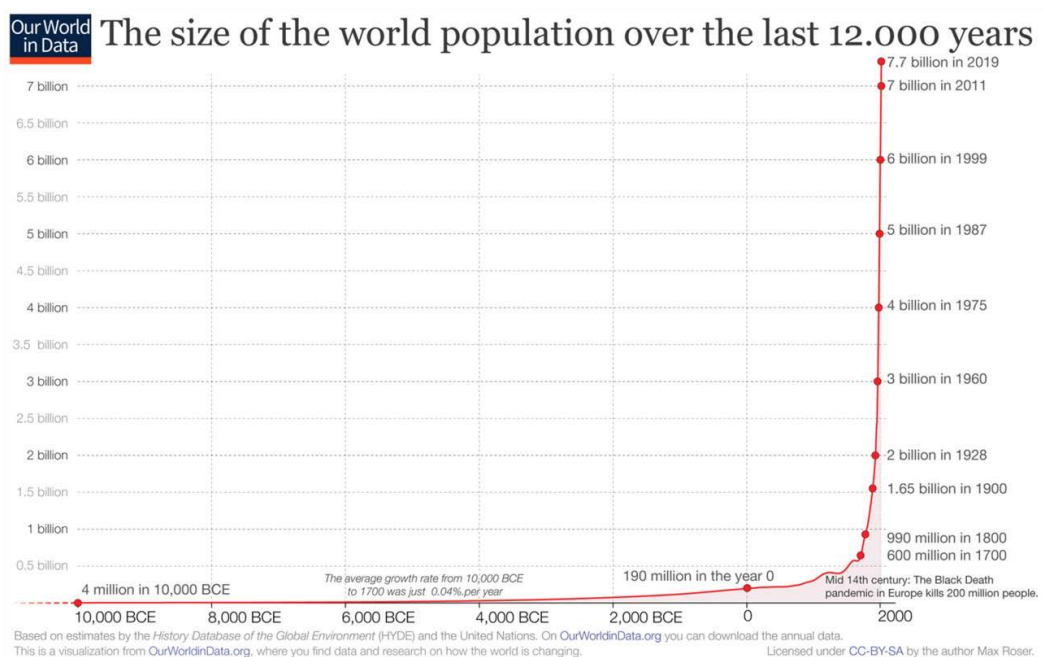


Рисунок 1.1 – Графік приросту населення світу [1].

Наприклад, в 1987 році населення планети становило 5 млрд осіб, в 2019 році число наближається до 8 млрд. (вуглекислий газ, метан, оксид азоту та ін.) (рис. 1.2) [2]. Згідно з передбачуваними сценаріями розвитку глобального потепління, підвищення температури біосфери до 2100 року може становити 5 °C [3].

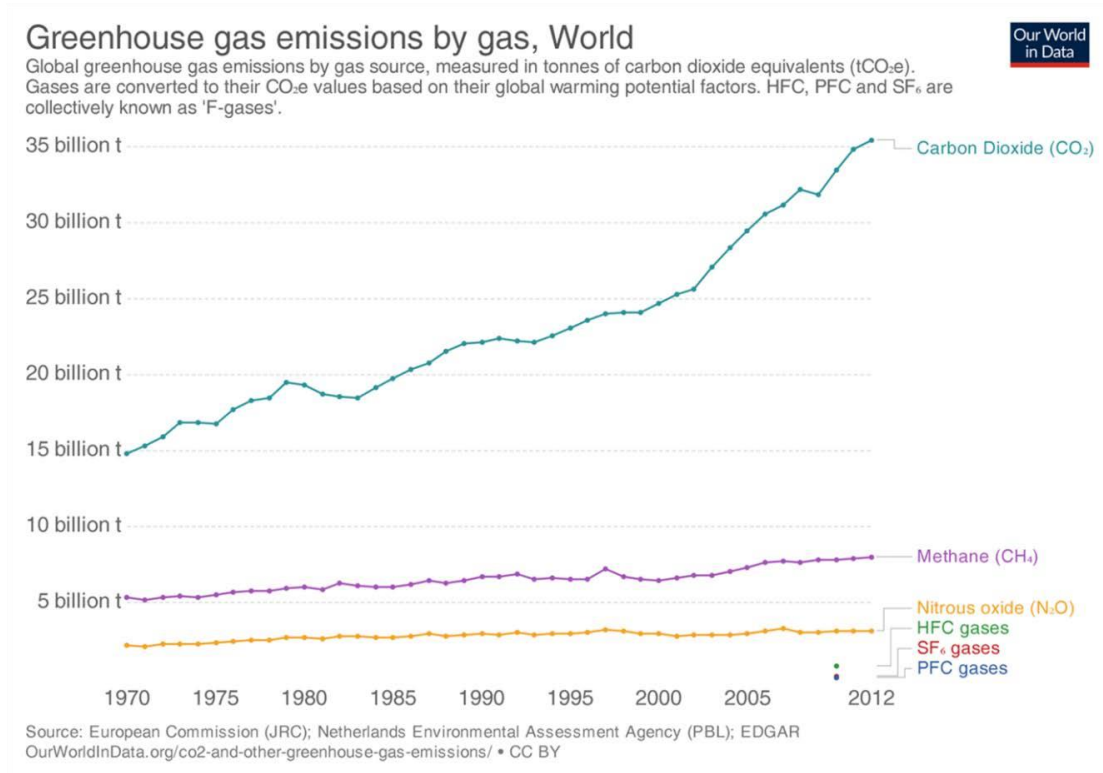


Рисунок 1.2 – Графік збільшення викидів парникових газів [2].

Концепція сталого розвитку активно обговорюється, втілюється і популяризується в усьому світі. Вона має на увазі забезпечення безпечного природного середовища, збереження ресурсів для майбутніх поколінь, обмеження негативного впливу на навколишнє середовище, а також забезпечення раціонального використання всіх видів природних ресурсів при реалізації будь-якої містобудівної діяльності [4].

Зростаючий попит на електроенергію сприяє інтересу до відновлюваної енергетики. Країни ЄС побудували стратегію енергозбереження «Energystrategy 2030», спрямовану на скорочення викидів парникових газів більш ніж на 30%, збільшення частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ)

більш ніж на 30%, а також економію енергії щонайменше на 30 % до 2030 року [5]. Стратегія Energystrategy 2050 спрямована на скорочення викидів парникових газів більш ніж на 80-95% порівняно з 1990 роком [6].

Фактичне споживання електроенергії в Україні в 2021 році становив 600,2 млрд. кВт·год і залишився майже на рівні 2020 року [7]. Тим часом технічний потенціал відновлюваних джерел країни оцінюється в 4,6 млрд тон на рік, що в кілька разів перевищує річне енергоспоживання. подорожчання викопного палива і одночасне здешевлення технологій відновлюваної енергетики [8].

Державна програма «Енергозбереження та підвищення енергоефективності на час до 2030 року», затверджена урядом спрямована на вдосконалення нормативної бази та впровадження механізмів підвищення енергоефективності, підвищення екологічної безпеки, зниження питомої енергоефективності [9].

Території України з децентралізованим енергопостачанням мають величезний потенціал для розвитку відновлюваних джерел енергії [10]. Енергетичний сектор сільського господарства України характеризується розпорошеністю сільських споживачів, низькою споживчою потужністю, протяжністю електричних, теплових і газових мереж, низькою щільністю населення територій без централізованого енергопостачання, на яких воно здійснюється. Ці особливості формують додаткові вимоги до надійності систем електропостачання через значний знос ліній електропередачі та низьку якість електропостачання, збої та втрати потужності в лініях. Сільські райони мають величезний потенціал для розвитку відновлюваної енергетики.

Проблема енергозабезпечення істотно впливає на умови життя населення, демографічну ситуацію і розвиток сільськогосподарського виробництва на цих територіях існує велика кількість населених пунктів які мають обмежений доступ до електромережі і змушені отримувати струм від дизель-генераторів. [11].

У деяких випадках нестача палива ставить під загрозу життя людей. За даними міністерства палива України, менше 35% великих і середніх сільськогосподарських підприємств мають доступ до централізованої системи

газопостачання, і лише 20% з них підключені до систем централізованого опалення.

Для багатьох регіонів України найбільш доцільним є впровадження автономних і інтегрованих систем енергопостачання з поновлюваними джерелами енергії. За загальним правилом, інтегровані системи, засновані на різних видах відновлюваних джерел енергії, повинні мати можливість використовувати весь ефективний період їх експлуатації. Такі системи повинні бути сконструйовані таким чином, щоб ВДЕ служили первинним джерелом енергії, в той час як використання інших джерел енергії відбувалось в разі виходу з ладу основного джерела (або, наприклад, якщо їх потужність недостатня).

У всьому світі можна відзначити активний розвиток технологій сонячної енергетики, на який безпосередньо впливає доступність сонячних панелей. Наприклад, сьогодні вартість тонкоплівкових сонячних елементів третього покоління становить від 0,25 долара за 1 кВт. На рисунку 1.3 наведена крива зміни цін на сонячні панелі з 1976 року [14].

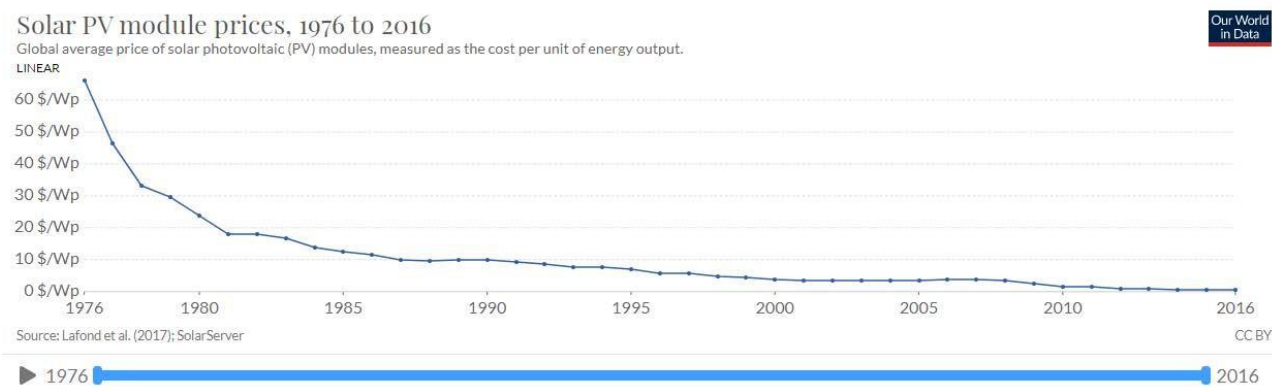


Рисунок 1.3 – Графік зміни вартості сонячних панелей з 1976 року до 2016 року [14].

Методи регулювання кліматичної політики повинні бути комплексними, тому питання енергозбереження повинні відводитися до важливих стратегічних завдань. Важливу роль відіграє енергозбереження в будівлях, так як воно може забезпечити значну економію енергетичних ресурсів [11]. І ця роль стає пріоритетною.

Одним із механізмів підвищення енергозбереження є «зелене» будівництво. «Зелені» будинки будуються з дотриманням високого рівня якості будівництва при мінімізації витрат і збереженні комфорту. Створені стандарти дозволяють здійснити ранній перехід від традиційного проектування і будівництва до стійкого. Будівлі, спроектовані за «зеленими» стандартами, безпечні, а також значно зберігають енергетичні ресурси.

Вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що одним з найбільш ефективних способів зниження питомих енерговитрат є заходи, пов'язані з додатковою теплоізоляцією огорожувальних конструкцій, світлопрозорих конструкцій, горищ та технічних приміщень, а також раціональної експлуатації інженерних систем.

Дослідження показують, що тільки в житлово-комунальному секторі потенційні ресурси енергозбереження становлять понад 50%. Проблеми енергозбереження протягом багатьох років практично не вирішувалися, а заходи щодо зниження питомих енерговитрат на опалення, вентиляцію та освітлення на стадії проектування часто є недостатніми.

На рисунку 1.4 наведено аналіз структури втрат при споживанні тепла в житловому фонді, який показує, що низький ККД теплоізоляції будівлі формує до 23% тепловтрат будівлі. [15-16].

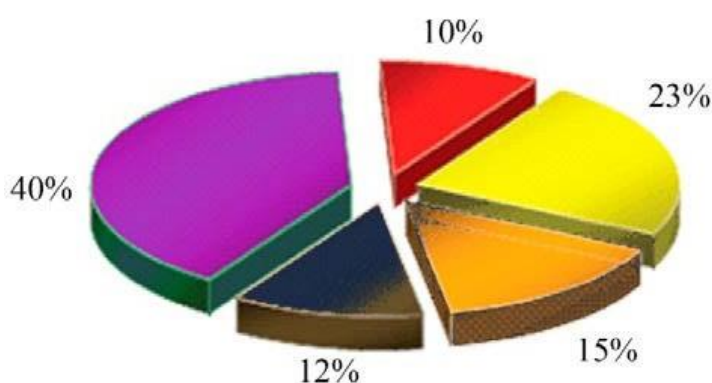


Рисунок 1.4 – Структура втрат при споживанні тепла та вентиляції.

- 12 % - відсутність поквартирного обліку;
- 40 % - втрати при опаленні;
- 10 % - відсутність автоматичного погодного регулювання;
- 23 % - низька ефективність теплоізоляції;
- 15 % - недосконалість системи вентиляції.

1.2 Огляд технологій енергозабезпечення будівель з допомогою відновлюваних джерел енергії

Найвища ефективність використання поновлюваних джерел енергії в будівлях досягається в разі використання огорожувальних конструкцій з високими теплоізоляційними властивостями.

Великий внесок у розвиток сонячної та геотермальної енергетики внесли вчені: Д.С. Стребков, В.А. Бутузов, В.В. Єлістратов, С.Є. Щеклейн. Дослідження по темі роботи електростанцій на базі ВДЕ представлені в дисертаціях Е.В. Брянцевой, П.П. Безруких, В.А. Бутузова, А.І. Сідельнікова, А.В. Тихонова, В.С. Афоніна і Аунг Ко.

«Екобудинок» заснований на наступних принципах: електроенергія, вироблена вітрогенератором, надходить частково споживачам, а частково - водяному насосу, що подає воду зі свердловини; Органічні відходи подаються в біореактор, біогаз з біореактора очищається і використовується як паливо. Кондиціонер забезпечує систему кондиціонування повітря в жарку погоду. Сонячні колектори подають тепло в теплоаккумулятори, а в холодну пору року віддають накопичене тепло в систему опалення. У даній системі можливе використання теплового насоса [26].

Наприклад, сонячна стіна Фелікса Тромба - це масивна кам'яна стіна, змурована з південного боку будівлі за подвійним фасадним застлінням.

Стіну можна покрити фольгою або пофарбувати в чорний колір. Такий спосіб дозволяє акумулювати сонячну енергію, а потім віддавати приміщенню теплову енергію в нічний час. За рахунок збільшення товщини стіни можна збільшити кількість акумульованого тепла і відповідно збільшиться тривалість протягом якого буде виділятися тепло в приміщення. Для поліпшення тепловіддачі стіни внизу і зверху стіни створюються спеціальні отвори для забезпечення природної конвекції повітря, загальний вигляд стіни Фелікса Тромба показано на рисунку 1.5.

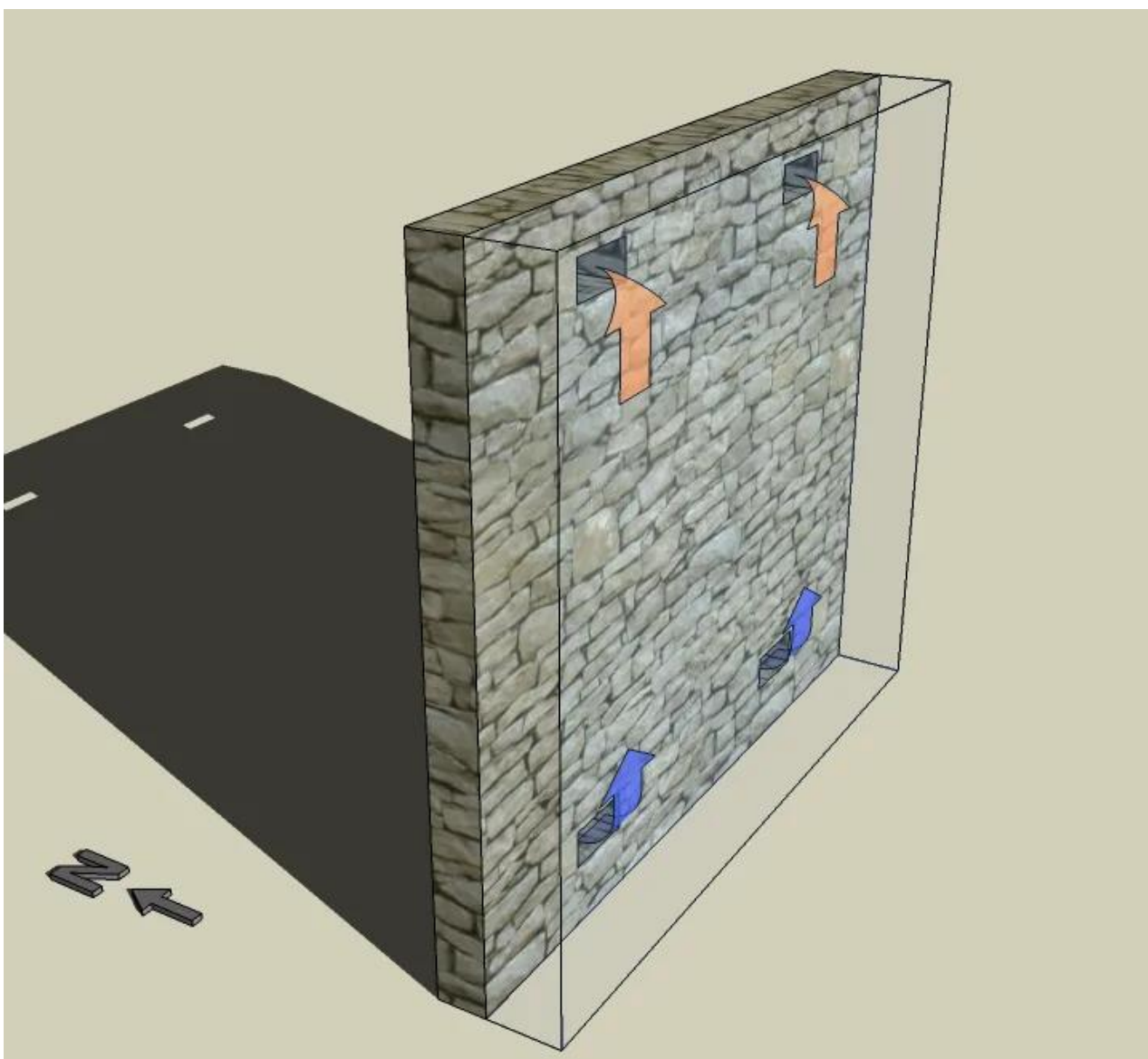


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд стіни Фелікса Тромба.

Концепція сонячного будинку Дугласа Балкомба застосовує принцип обігріву житлових будинків за допомогою сонячної теплиці з південної сторони, така теплиця є акумулятором денного тепла. Для зниження теплових втрат в нічний час і в холодні дні, а також для захисту від перегріву влітку вітражі забезпечуються жалюзями. Зовнішні стіни інших приміщень робляться з мінімальною кількістю світлових отворів. Сонячний будинок Дугласа Балкомба показано на рисунку 1.6.

Шведському архітектору Бенгту Варні прийшла в голову ідея створення будинку в середині прозорого корпусу зі скла або полікарбонату. Зменшення

вітрового навантаження і повітряного прошарку між фасадами дозволяє знизити



Рисунок 1.6 – Сонячний будинок Дугласа Балкомба.

температурний тиск між приміщеннями і вулицею. Така конструкція дозволяє знизити витрати на нагрівання на 50% [21]. Будинок Бенгту Варни показано на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Будинок Бенгту Варни.

Сонячний будинок, побудований в Арізоні в США архітектором Пітером Лі, спроектований у вигляді прямокутного об'єму з плоским дахом. Сонячні колектори опалювальної системи встановлюються на даху над патіо у вигляді глухої решітки, а також над південним фасадом будинку. Положення пластин регулюється електродвигуном з годинниковим механізмом так, щоб пластини колектора були перпендикулярні сонячним променям [21].

Однією з тенденцій європейської архітектури є система похилого фасаду (похилий фасад). Засновником ідеї кліматичного фасаду або фасаду з «подвійною» ізоляцією є відомий архітектор Ле Корбюзьє. Його новаторська ідея «нейтралізуючої стіни» на початку ХХ століття полягала в будівництві повітряного прошарку між внутрішнім і зовнішнім шарами фасаду будівлі, в якому були встановлені трубки для нагрівання і охолодження повітря. В теперішній час, дизайн подвійного застекленого фасаду особливо поширений в висотному будівництві. Всесвітньо відомі будівлі з подвійним фасадом, такі як мерія і хмарочос Мару Ахе в Лондоні, рисунок 1.8.

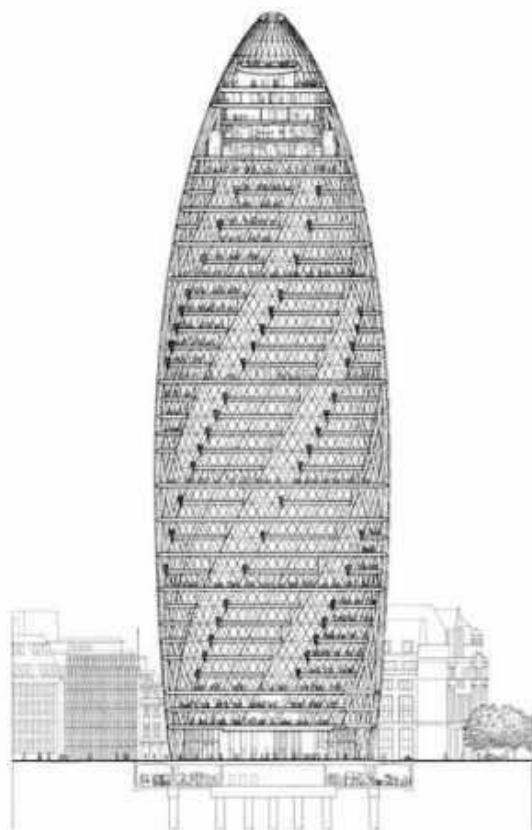


Рисунок 1.8 – Хмарочос Мару Ахе в Лондоні.

Конструкція фасаду складається з двох оболонок скла, що забезпечують естетичний дизайн і виконують функцію огорожувальної конструкції. Взагалі, міжскляний простір - це канал проходження повітря що зв'язаний з вулицею і системою вентиляції на основі ролет. В зимку холодне повітря надходить через зовнішні відкриті рамки, проходить в міжскляний простір, де нагрівається теплими стінами і сонячною енергією, а потім надходить в приміщення. В літку по фасаду проходить безперервний потік повітря, що дозволяє за рахунок природної тяги охолоджувати будівлю без використання додаткового кондиціонування.

Найбільш ефективна схема роботи кліматичного фасаду разом з припливною вентиляцією виглядає наступним чином: холодне повітря забирається в нижній частині, фасаду, проходить вздовж зовнішньої стіни, нагрівається і надходить в систему вентиляції . У вентиляційній установці повітря нагрівається до необхідної температури приміщень. Таким чином, тепловтрати будівлі через зовнішні стіни нагрівають повітря, істотною перевагою такого фасаду є енергозбереження за рахунок використання природної вентиляції, попереднього підігріву холодного повітря взимку і використання сонячної енергії.

Недоліками кліматичного фасаду є висока вартість і експлуатаційні витрати на утримання такої споруди, пов'язані з трудовитратами на очищення всіх скляних поверхонь; зменшення корисної площі будівлі, а також пожежонебезпеки при відсутності перегородок і перешкод в провітрюваному просторі.

Законодавча база багатьох країн світу передбачає механізми для стимулювання розвитку та удосконаленню технологій на основі відновлюваних джерел енергії інтегрованих в будівництво, що істотно сприяє розвитку сонячних систем енергозабезпечення інтегрованих в будинки. Наприклад, в Німеччині діє закон про відновлювані джерела енергії (EEG Renewable Energy). Закон про відновлювальні джерела, згідно з яким право на відшкодування за постачання відновлюваної енергії від сонячних установок потужністю до 100

кВт встановлених на житловому будинку, мають домогосподарства, за умови, що не менше 40% площі будинку займають житлові приміщення.

1.3 Фотоелектричні модулі інтегровані в огорожувальні конструкції будинків

Активне використання поновлюваних джерел енергії сприяє все більшому використанню сонячних елементів в облицюванні будівлі. Фотоелектричні модулі (PV), інтегровані в огорожувальні конструкції, беруть на себе нові функції, не обмежуючись виробленням електроенергії. При цьому вимоги до цих систем зростають і стають все більш жорсткими. Фотоелектричні модулі пропонуються у вигляді плоских або гнучких поверхонь з пустотілою або багат шаровою структурою. Вони можуть бути вбудовані в будь-яку частину будівлі, а завдяки своїм характеристикам (розмірам, гнучкості, формі і зовнішньому вигляду) можуть бути елементом дизайну. Фотоелектричні модулі використовуються з традиційними для архітектури матеріалами - склом і металом - як в непрозорому, так і в напівпрозорому виконанні. На рисунку 1.9 показані способи інтеграції фотоелектричних модулів в будівлю.

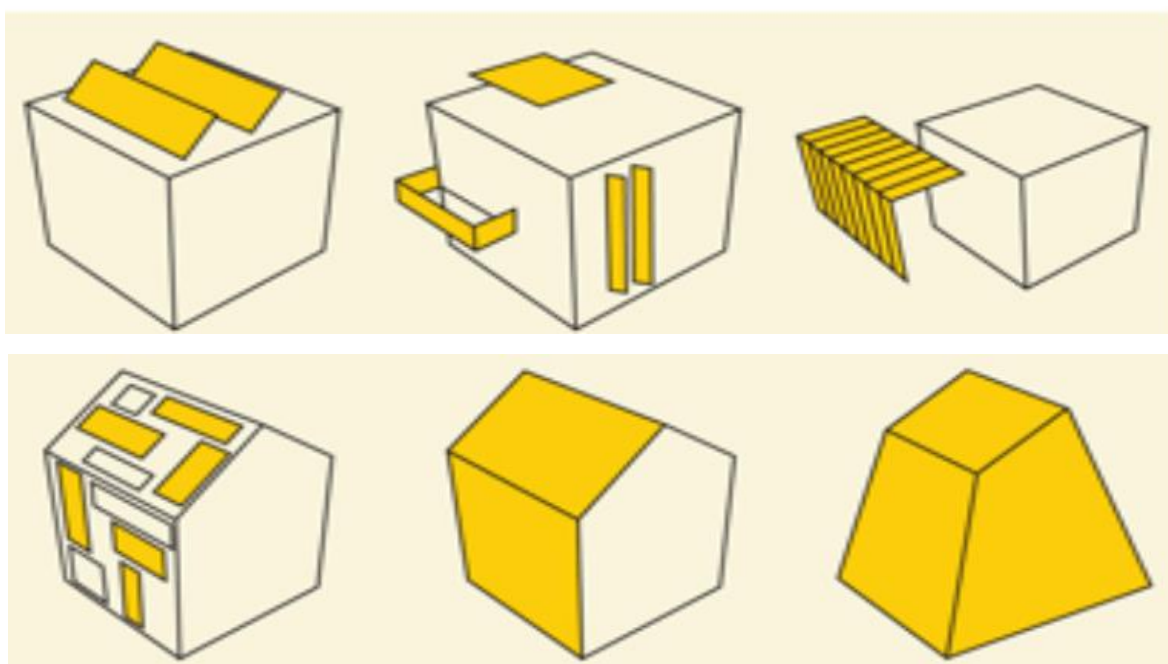


Рисунок 1.9 – Способи інтеграції фотоелектричних модулів в будівлю.

Більшість фотоелектричних модулів розробляються як виключно допоміжні елементи, призначені тільки для виробництва енергії. Як правило розміри модулів оптимізовані для збору енергії і полегшення процесу складання, хоча в цьому випадку приділяється дуже мало уваги їх інтеграції в архітектуру і дизайн будівлі. З цієї причини їх встановлення і експлуатація викликають багато питань. Основним джерелом проблеми є недостатня компетентність виробників сонячних елементів, зазвичай пов'язана з відсутністю відповідних стандартів.

Фотоелектричні модулі повинні розроблятися відповідно до певних технологічних вимог і при цьому повинні поєднувати в собі функції огорожувальної конструкції (щоб їх можна було легко монтувати в дах, фасад, парапет і т.п.), бути надійними і безпечними. Вбудований модуль повинен відповідати більш високим вимогам, ніж традиційний (з точки зору термічної та механічної стійкості). Це вкрай важливо, особливо в сьогоденних умовах, коли немає стандартів, що регулюють це питання.

Актуальною проблемою в області фотоелектричних систем є те, що, з одного боку, ринок вимагає економічно вигідних рішень з використанням фотоелектричних систем (вартість модуля, пікове навантаження), а з іншого боку, виробники повинні самостійно розробляти нове обладнання, витрачаючи на це значні суми.

Теоретично фотоелектричні системи можуть використовуватися на будь-якій частині огорожувальної конструкції будівлі, на яку потрапляють прямі сонячні промені. Зазвичай їх розташовують на даху, фасадах і сонцезахисних дашках.

При їх використанні необхідно враховувати особливості огорожувальних конструкцій, архітектуру, а також енергетичні характеристики будівлі. Наприклад, модуль з напівпрозорого скла при використанні на застеленому фасаді також повинен виконувати функції

ізолюючого елемента з необхідними характеристиками теплоізоляції, регулювання інсоляції, захисту від відблисків і т.п.

Існує два основних способи застосування фотоелектричних панелей в прибудівництві та реконструкції будинків:

- монтаж фотоелектричних панелей ззовні будівлі (BAPV);
- заміна окремих деталей будівельних конструкцій на фотоелектричні системи (BIPV).

Конструкція деяких елементів будинку опери в Осло (рисунок 1.10) ззовні виготовлена зі спеціального скла, яке сприймає сонячне випромінювання і є фотоелектричним модулем.



Рисунок 1.10 – Будинок опери в Осло (Норвегія) проект Snohetta.

Якщо говорити про монтаж елементів поверх огорожувальних конструкцій, BAPV, то для цих цілей зазвичай використовуються традиційні фотоелектричні модулі з відповідними системами встановлення.

BAPV – модулі включають в себе широкий спектр фотоелектричних елементів, встановлених на фасаді будівлі, а також ряд традиційних фотоелектричних систем для встановлення на даху – зазвичай після завершення будівництва.

До фотоелектричних модулів зазвичай не пред'являються особливі вимоги, так як вони не несуть ніяких додаткових функцій для будівлі. Достатньо лише серії тестів ІЕС. На рисунку 1.11 показано спосіб монтажу фотоелектричних модулів поверх огорожувальної конструкції.



Рисунок 1.11 – Монтаж фотоелектричних BAPV модулів на даху будівлі.

Фотоелектричні модулі які призначені для заміни традиційних елементів огорожувальних конструкцій будівлі, повинні компенсувати всі її функції. Це означає, що BIPV-модуль, вбудований в огорожувальну конструкцію повинен відповідати певним вимогам. З цієї причини система повинна відповідати кільком нормативним актам: стандарту електричних вимог (див. Директиву 2006/95/ІЕС або стандарти CENELEC), а також стандартам для будівельної продукції (див. Директиву ЄС про будівельну продукцію CPD 89/106/ЕЕС, наприклад, EN ISO 12543).

На рисунку 1.12 показано спосіб монтажу фотоелектричних модулів BIPV які є елементами даху.



Рисунок 1.12 – Фотоелектрична установка змонтована з модулів ВІРV які є елементом даху.



Рисунок 1.13 – Монтаж модулів BIPV які є елементом даху.

В південний фасад дослідницького центру в Невшателі (Швейцарія) був інтегрований сонячний фасад, рисунок 1.14.



Рисунок 1.14 – Загальний вигляд південного фасаду дослідницького центру в Невшателі.

Інтегровані в нього сонячні панелі були виготовлені за експериментальною технологією, розробленою компанією Meyer Burger. Фасад створений за високоефективною гетероперехідною технологією для сонячних панелей (HJT) і «розумної» панельної система підключення SmartWire (SWCT).

Фотоелектричний фасад відрізняється елегантним дизайном своїх модулів. Завдяки практично невидимим з'єднувальним елементам сонячні модулі фасаду утворюють практично однорідну поверхню на 633 м² площі. Всього на реалізацію цього проекту пішло 18 місяців, а фінансуванням будівництва займалася міська влада, енергопостачальна компанія Viteos та Науковий центр CSEM. Інноваційні технології дозволили досягти високої енергоефективності фасаду і гарантованої максимальної енерговіддачі навіть при дуже високих температурах.

1.4 Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз стану проблеми використання відновлюваних джерел енергії для енергозабезпечення в Україні та світі.

2. На основі аналізу вітчизняних і світових технологій енергозабезпечення будинків з допомогою відновлюваних джерел енергії запропоновано створити новий тип вентиляованих фасадних панелей з інтегрованими фотоелектричними перетворювачами сонячної енергії для енергопостачання та створення теплової оболонки навколо будівлі.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Параметри будівлі

Розміри будівлі в плані по осях - 18×24 м. На рисунках 2.1 і 2.2 представлені плани першого і типового поверхів, відповідно.

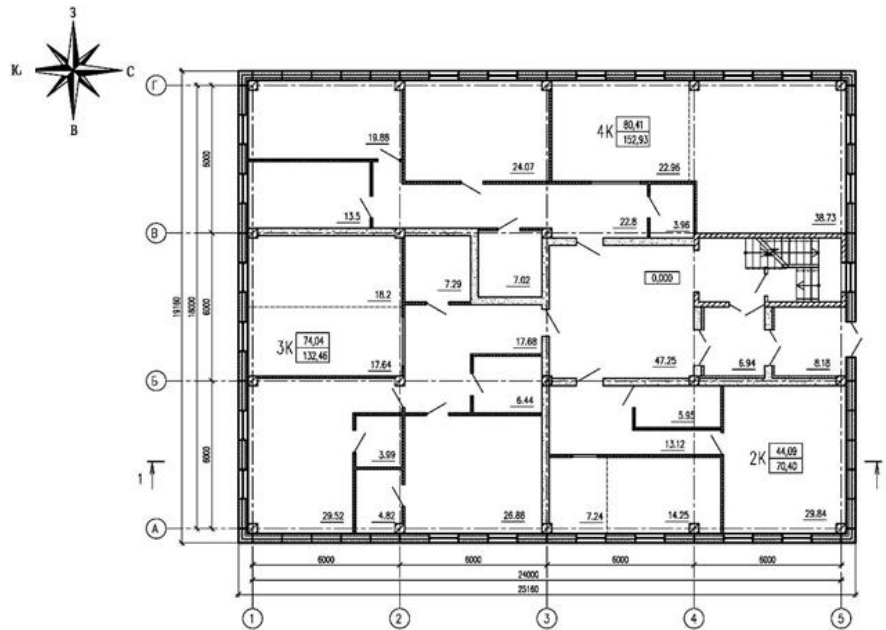


Рисунок 2.1 – План першого поверху.

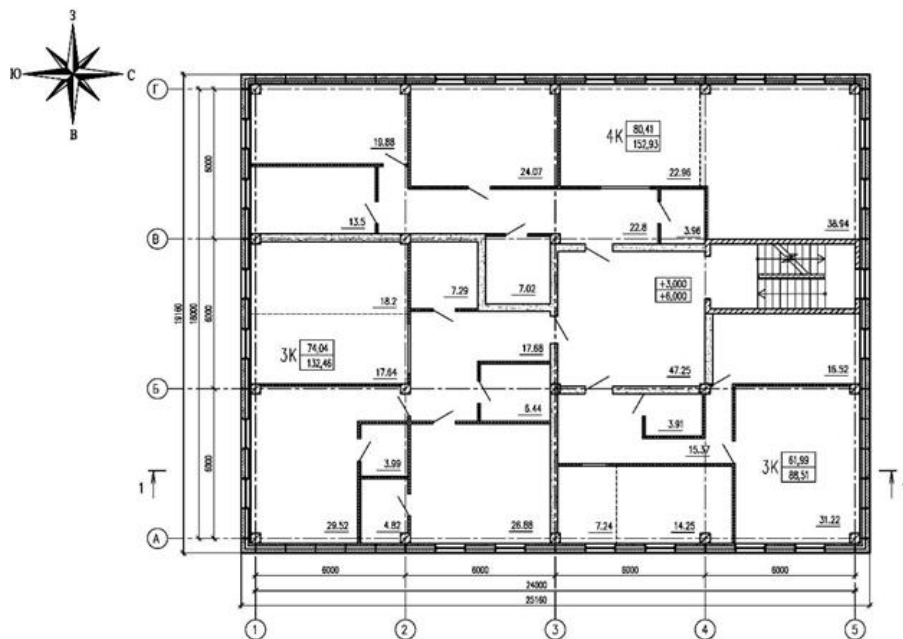


Рисунок 2.2 – План типового поверху (2 і вище).

На рисунку 2.3 представлена схема системи вентиляції будівлі.

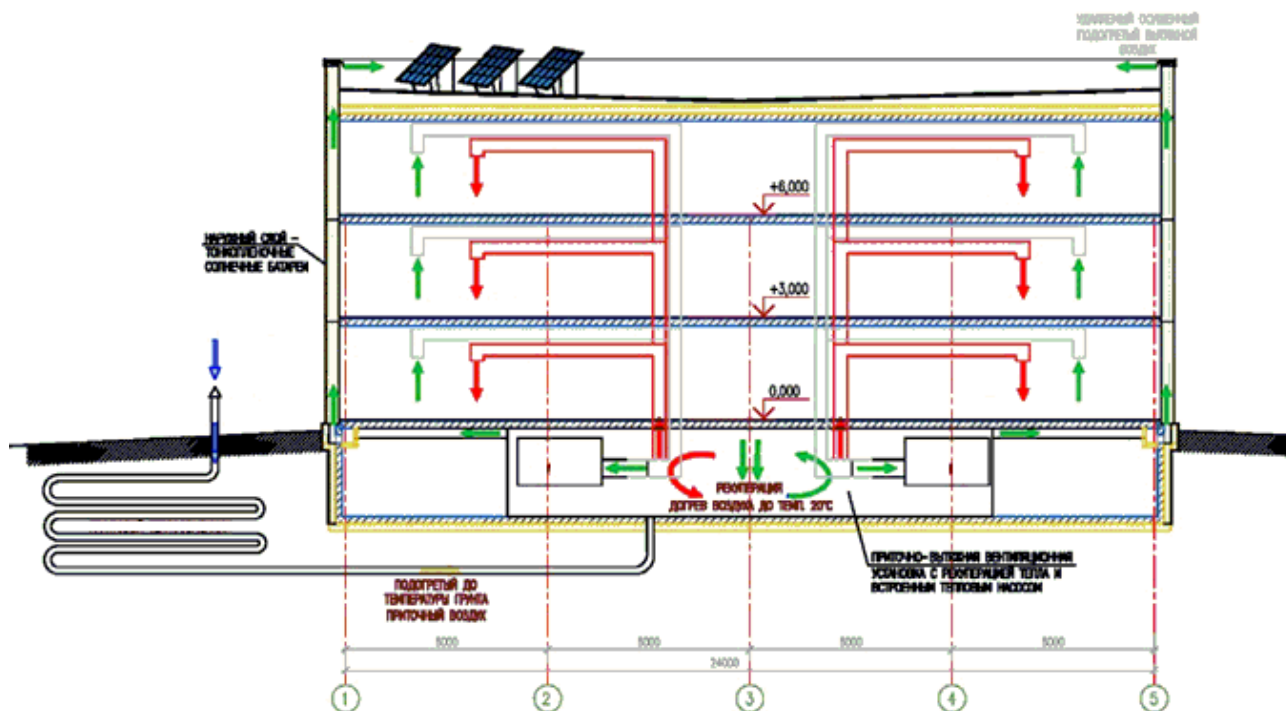


Рисунок 2.3 – Схема системи вентиляції будівлі.

Холодне повітря з вулиці потрапляє в підземний ґрунтовий теплообмінник а звідти нагріте ґрунтом потрапляє в припливно-витяжну вентиляційну установку з рекуперацією тепла і вбудованим тепловим насосом, де нагрівається до температури 20-22 ° С. Тепле повітря з приміщень проходить через вентиляційну установку з рекуперацією тепла, потім надходить в конденсаційну сушку і після чого при незначному підвищенні температури на 4-5 ° С надходить в розподільний лоток в нижній частині вентиляційної фасадної панелі. Вихід повітря з вентиляційної фасадної панелі відбувається в парпетній частині панелі. Сонячні елементи встановлюються вздовж південного фасаду.

2.2 Моделювання вентиляційної фасадної панелі в SOLIDWORKS

Для розрахунку був обраний фрагмент стіни без вікон. Конструкція моделі, виконана в SOLIDWORKS (рисунок 2.4), складається з трьох панелей на три поверхи (розмірами 1,2×3 м (Н)), парпетної панелі (розміри 1,2×0,9 м (Н)), розподільного лотка в підвалі, призначеного для подачі нагрітого повітря

в вентилявану фасадну панель.

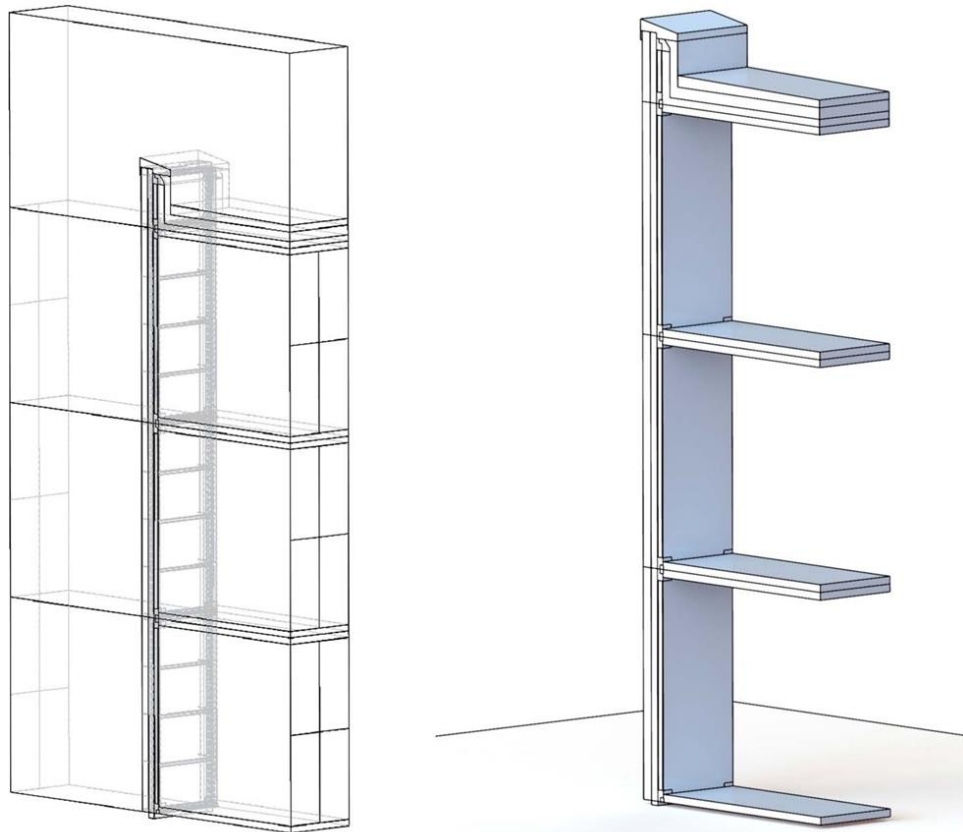


Рисунок 2.4 – Модель Solidworks.

Утеплення цоколя будинку:

- Цоколь будинку умовно заповнюють керамзитом товщиною 0,3 м.
- Нижня поверхня панелі виконана з мінераловатного утеплювача товщиною 0,2 м.

– Температура нижньої поверхні моделі T_{middle_rfc} , має відповідати температурі середини плити перекриття над фундаментом (товщина плити 200 мм, теплоізоляція знизу 100 мм) і визначається за формулою:

$$Q_m = Q \cdot \rho \quad (2.1)$$

де ρ – густина повітря, кг/м³;

Q – об'ємна витрата повітря, м³/с, яка визначається за формулою:

$$Q = \frac{V_{внутр} \cdot n}{3600 \cdot N} \quad (2.2)$$

де $V_{внутр}$ – внутрішній об'єм повітря, м³;

n – кратність повітрообміну, 1/год;

N – кількість панелей одного поверху, шт.

Витрата повітря $Q_{m,fl}$ на вході в приміщення розраховується за формулою:

$$Q_m^{fl} = \frac{V_{дом} \cdot \rho}{3600} \quad (2.3)$$

де $V_{дом}$ – об'єм внутрішнього повітря на поверсі, м³.

На рисунку 2.5 наведено модель вентиляованої фасадної панелі.

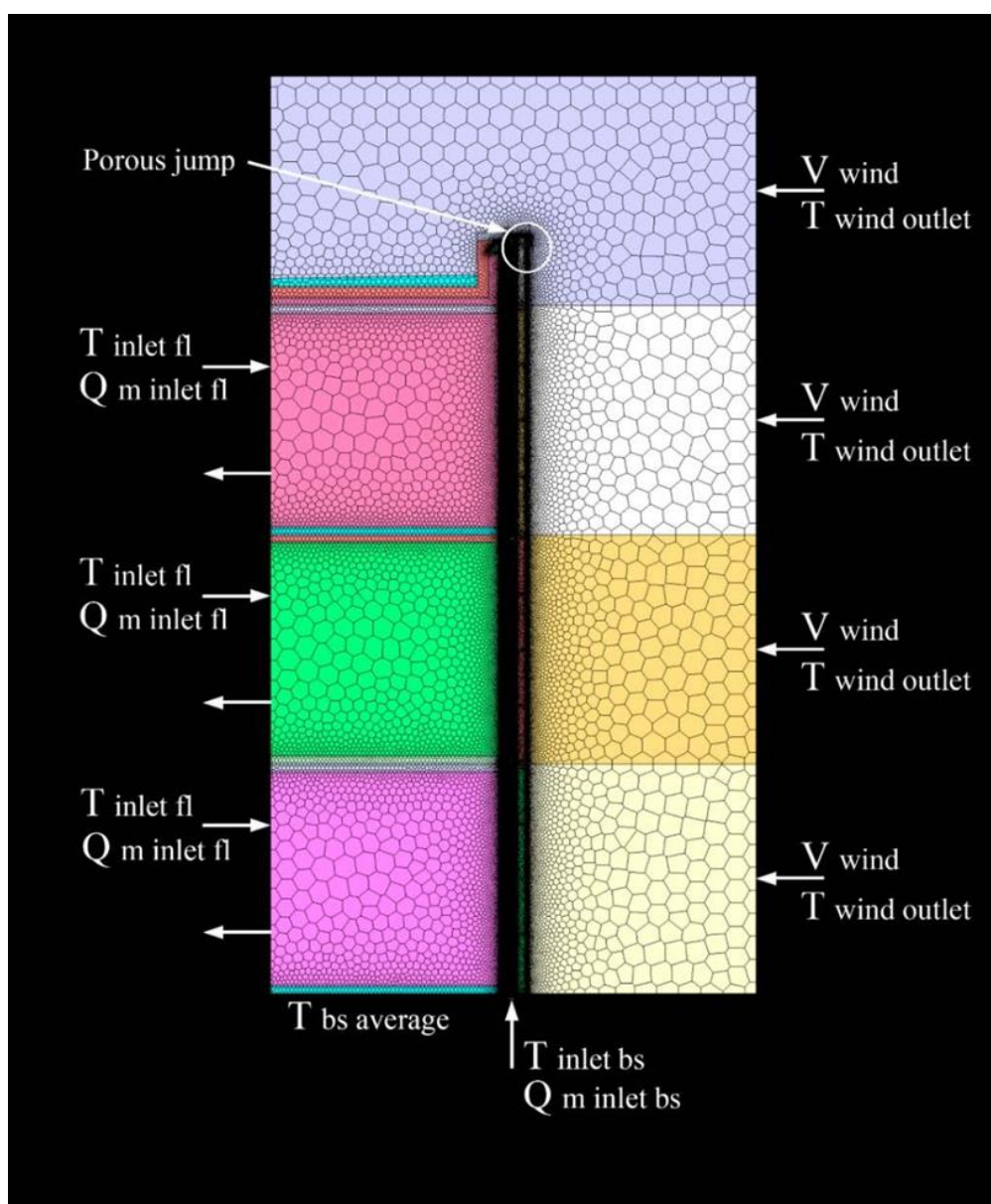


Рисунок 2.5 – Граничні умови розрахункової моделі.

Вихідні параметри моделі наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні параметри розрахункової моделі

Ім'я, параметр	Опис
p_s4_inlet_bs_ave	Середній тиск на вході в зазор bs
p_s4_bs_fl1_ave	Середній тиск зазору між bs і fl1
p_s4_fl1_fl2_ave	Середній тиск зазору між fl1 і fl2
p_s4_fl2_fl3_ave	Середній тиск кліренсу між fl2 і fl3
p_s4_fl3_pt_ave	Середній тиск зазору між fl3 і pt
s4_pt_valve_ave	Середній зазор тиску клапана
q_wall_s1_fl1_ave	Густина теплового потоку з кімнати fl1
q_wall_s1_fl2_ave	Густина теплового потоку з кімнати fl2
q_wall_s1_fl3_ave	Густина теплового потоку з кімнати fl3
reynolds_fl1_ave	Число Рейнольдса fl1 середнє
reynolds_fl2_ave	Число Рейнольдса fl2 середнє
reynolds_fl3_ave	Число Рейнольдса fl2 середнє
t_outlet_fl1_ave	Середня температура на виході з приміщення fl1
t_outlet_fl2_ave	Середня температура на виході з приміщення fl2
t_outlet_fl3_ave	Середня температура на виході з приміщення fl3
t_pt_outlet_ave	Середня температура на виході з pt
t_s4_bs_fl1_ave	Середня температура зазору знаходиться між bs і fl1
t_s4_fl1_fl2_ave	Середня температура проміжку знаходиться між fl1 і fl2

t_s4_fl2_fl3_ave	Середня температура проміжку знаходиться між fl2 і fl3
t_s4_fl3_pt_ave	Середня температура в проміжку знаходиться між fl3 і pt
t_s4_pt_valve_ave	Середня температура зазору pt в клапані
t_pt_outlet_ave	Середня температура в кліренсі на виході з pt
t_wall_s1_fl1_ave	Середня температура стінки s1 fl1 (повітря)
t_wall_s1_fl1_min	Мінімальна температура стінки s1 fl1 (повітря)
t_wall_s1_fl2_ave	Середня температура стінки s1 fl2 (повітря)
t_wall_s1_fl2_min	Мінімальна температура стінки s2 fl1 (повітря)

2.3 Моделювання зовнішніх умов і оцінка їх впливу на енергетичні ресурси відновлювальних джерел енергії

Можливість використання відновлювальних джерел енергії для цілей енергозабезпечення в значній мірі пов'язана з кліматичними умовами, географічним розташуванням регіону експлуатації та періодом роботи системи.

Найважливішими зовнішніми параметрами, що впливають на енергетичні показники роботи сонячної системи енергозабезпечення є:

- інтенсивність сонячної радіації (як прямої, так і дифузної);
- температура навколишнього повітря;
- швидкість вітру, та його напрямок;
- кут нахилу.

2.3.1 Моделювання інтенсивності сонячного випромінювання

Основними характеристиками для оцінки енергетичного потенціалу сонячного випромінювання є сумарна сонячна радіація та її складові частини – пряма і дифузна радіація.

Потік позаатмосферної добової інсоляції на горизонтальну поверхню визначається за методикою [25].

Густину потоку позаатмосферної сонячної радіації на горизонтальну поверхню H_0 можна знайти за допомогою графіку, що побудований с використанням бази даних щодо позаатмосферної добової освітленості горизонтальної поверхні України для середини кожного місяця року (рисунок 2.6).

При проектуванні та розрахунках сонячних систем енергозабезпечення виникають ситуації, коли необхідно визначати ефективність її роботи за поточну годину часу. На провідних метеорологічних станціях дані щодо інсоляції поступають погодинно, проте на практиці прогнозування при проектуванні установок погодинну інсоляцію визначають розрахунковим шляхом з використанням середньодобових даних.

За допомогою статистичних методів обробки результатів вимірювань погодинного розподілення сумарної сонячної радіації на горизонтальній поверхні протягом доби, що отримані шляхом усереднення даних провідних метеорологічних станцій за багаторічний період (1978 – 2018 рр.), існують узагальнюючі графіки та номограми, які зручно використовувати для визначення погодинної інсоляції за методикою [25].

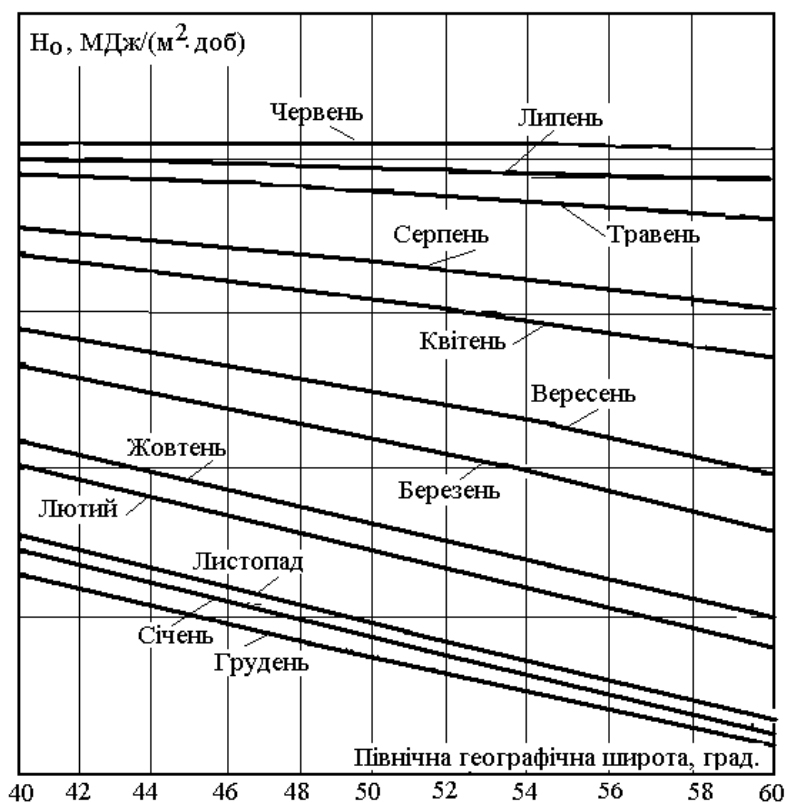


Рисунок 2.6 – Позатмосферна добова сонячна радіація на горизонтальну поверхню для середини місяців року

Сумарна інтенсивність сонячного випромінювання, що надходить на нахилену поверхню:

$$H = H_b \cdot R_b + H_d \cdot R_d + (H_b + H_d) \cdot R_d^{\phi} \quad (2.4)$$

де H_b і H_d – інтенсивність прямої і дифузної складових частин інсоляції на горизонтальну поверхню, Вт/м²;

R_b, R_d і R_d^{ϕ} – безрозмірні поправочні коефіцієнти для прямої, дифузної радіації та відбитої від землі і оточуючих предметів.

$$R_b = [\cos(j-s) \cdot \cos(d) \cdot \cos(w) + \sin(j-s) \cdot \sin(d)] / [\cos(j) \cdot \cos(d) \cdot \cos(w) + \sin(j) \cdot \sin(d)] \quad (2.5)$$

$$R_d = [1 + \cos(s)] / 2 \quad (2.6)$$

$$R_d^{\phi} = r \cdot [1 - \cos(s)] / 2 \quad (2.7)$$

Сонячний час, що відповідає годинам місцевого часового поясу обчислюється рівнянням:

$$t_{solar} = t_{місц} + E + 4 \cdot (L_{cp} - L_{місц}) \quad (2.8)$$

де t_{solar} – сонячний час, годин;

$t_{місц}$ – час у місцевому часовому поясі, години;

E – поправка до рівняння часу надається у графічному вигляді;

L_{cp} – середній меридіан для місцевого часового поясу, град.;

$L_{місц}$ – географічна довгота місцевості, град.;

4 – коефіцієнт, який враховує, що 1 град. географічної довготи, відповідає 4 хвилинам.

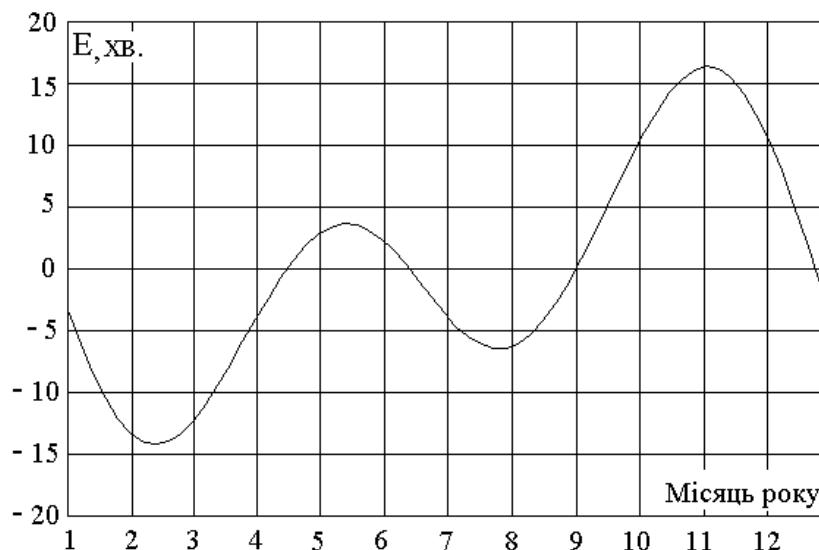


Рисунок 2.7 – Поправка до рівняння часу.

Коефіцієнт, що враховує відношення потоків сонячної радіації на нахилений і горизонтальній поверхні визначають за рівнянням:

$$\begin{aligned} R &= (H_b / H) \cdot R_b + (H_d / H) \cdot R_d + R_d^e = \\ &= (H_b / H) \cdot R_b + (H_d / H) \cdot [1 + \cos(S)] / 2 + r \cdot [1 - \cos(S)] / 2 \end{aligned} \quad (2.9)$$

Тривалість світового дня визначають за формулою:

$$T_d = (2/15) \cdot \arccos[-\operatorname{tg}(d) \cdot \operatorname{tg}(j)] \quad (2.10)$$

Для практичних розрахунків сонячних систем можна використовувати відомі рівняння, які справедливі для умов різних регіонів України для будь-

якого порядкового дня року n . Наприклад, математична модель інтенсивності інсоляції на горизонтальну поверхню з дисперсією 0,95 має вигляд:

$$H(n) = A + B \cdot \cos \cdot [2p \cdot (n - 173) / 365] \quad (2.11)$$

де $A = 38,5 - 0,27 \cdot \varphi$, МДж/(м² · доб.);

$B = 1,64 + 0,31 \cdot \varphi$, МДж/(м² · доб.).

Середньорічну інсоляцію на горизонтальну поверхню для регіонів України, що мають географічну широту φ , можна визначити за рівнянням:

$$H_{\text{рік}} = -93,0 + 4,93 \cdot \varphi - 0,0568 \cdot \varphi^2 \quad (2.12)$$

а для весняно-літнього сезону з квітня по жовтень справедливе рівняння:

$$H_{\text{берез-жовтень}} = 54,2 - 0,79 \cdot \varphi + 3,86 \cdot \varphi^2 \quad (2.13)$$

2.3.2 Моделювання зміни температури навколишнього середовища та швидкості вітру

Звичайно для моделювання зміни вказаних параметрів використовуються реальні метеорологічні дані, що не завжди відповідають екстремальним умовам роботи системи, які можуть виявитись при довготривалій експлуатації системи.

Для врахування випадкових змін кліматичних умов в пропонується випадковий Марковський процес з використанням методу Монте-Карло для моделювання зміни температури навколишнього повітря і інтенсивності сонячної радіації. Вказана методика дає можливість, визначивши статистичні характеристики великих масивів метеорологічних даних, генерувати, за допомогою стохастичного методу, послідовності з аналогічними характеристиками, але кількість яких значно менша. Саме тому цей підхід використовувався нами у дослідженнях та моделюванні кліматичних умов. Окремі результати щодо інтенсивності інсоляції представлені у вигляді рівнянь.

При використанні стохастичного методу генерації річного ряду метеорологічних даних, наприклад, середньодобової температури для всіх 365 днів року, можна обмежитись кількістю характеристик в інтервалі 2 – 6. Окрім

того, в генерованих рядах можуть виникнути такі статистичні закономірні відхилення і послідовності, які не спостерігались у вхідному масиві через його малий об'єм. Це означає, що система буде поставлена у більш жорсткі кліматичні умови, ніж при використанні вхідного масиву даних.

Нами виконано обробку та аналіз вхідного масиву кліматичних даних щодо середньомісячної температури навколишнього повітря та амплітуди коливань її середньодобових значень засобами прикладного пакету програмування MS Excel, що дозволило встановити кореляційні залежності між зміною середньої температури повітря T_H , °C та середньодобовою амплітудою її коливань ΔT . Розроблена математична модель дозволяє визначати середню температуру навколишнього повітря в функції амплітуди її коливань ΔT для різних регіонів України Для Одеси та Києва, відповідно, з дисперсією 0,95:

$$\Delta T = 0,146 \cdot T_H + 5,31 \quad (2.14)$$

$$\Delta T = 0,105 \cdot T_H + 4,59 \quad (2.15)$$

$$\Delta T = 0,163 \cdot T_H + 9,91 \quad (2.16)$$

Розподілення температури повітря можна представити у вигляді добових асиметричних синусоїдальних функцій середньомісячних температур. При цьому, з урахуванням прийнятих у роботі методів обчислень, не переривчаста функція температури протягом часу $T_H(t)$ замінена дискретними значеннями і має гіпотетичний “ступінчастий” вигляд, представлений на рисунку 2.8. Добова зміна температури повітря має синусоїдальний характер з максимумом о 14.30 та мінімумом у момент сходу Сонця.

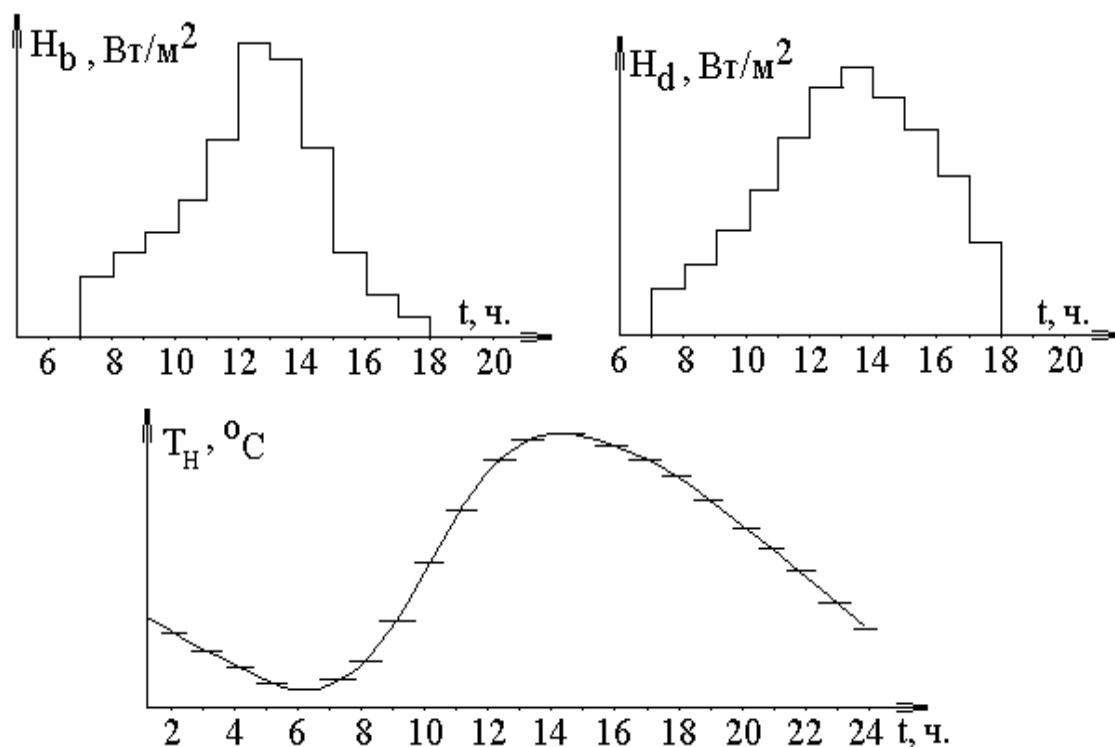


Рисунок 2.8 – Добове розподілення температури повітря.

Математична модель, що дозволяє розраховувати температуру атмосферного повітря в будь-який момент часу для опалювального сезону (з жовтня по квітень) має вигляд:

$$T_{H,m}(t) = T_{min,m} + [(T_{max,m} - T_{min,m}) / 2] \cdot (F_m(t) + 1) \quad (2.17)$$

де m – номер місяця опалювального сезону ($m = 10, 11, 12, 1, 2, 3, 4$);

$F_m(t)$ – поправочний коефіцієнт, що залежить від часу доби та місяця опалювального сезону, визначається з дисперсією 0,95 за формулами:

$$F_m(t) = \sin\{p[(t - t_{восх,m}) / (14,5 - t_{восх,m})] - 0,5\} \text{ при } t \leq t_{восх,m} \leq 14,5 \text{ год.} \quad (2.18)$$

$$F_m(t) = \cos[p(t - 14,5) / (9,5 + t_{восх,m})] \text{ при } t < t_{восх,m} \text{ та } t > 14,5 \text{ год.} \quad (2.19)$$

$T_{max,m}$ та $T_{min,m}$ – середньодобові значення екстремальних температур повітря протягом місяців опалювального періоду, що розраховуються за формулами:

$$T_{max,m} = T_{H,m} + \Delta T_m \text{ та } T_{min,m} = T_{H,m} - \Delta T_m \quad (2.20)$$

де $T_{H,m}$ – середня температура навколишнього повітря в m -ому місяці опалювального періоду, °С;

ΔT_m – середня багаторічна амплітуда коливань денної температури повітря в m -ому місяці опалювального періоду, °С;

Величини $T_{H,m}$ и ΔT_m можна приймати за довідковими даними.

Аналогічний підхід використовувався для моделювання швидкості вітру для різних регіонів України. Для кожного регіону враховувалась швидкість вітру протягом року та найбільша його повторювальність.

Математична модель, що дозволяє розраховувати середньодобову швидкість вітру W для різних регіонів України з дисперсією 0,95 має вигляд:

$$W(n) = 5,7 + 0,7 \cdot \sin[(2p / 365) \cdot (n - 197) + W / 3], \quad (2.21)$$

2.3.3 Моделювання орієнтації модулів з врахуванням розсіювання сонячної радіації

Згідно загальноприйнятих методик, орієнтація сонячних модулів оцінюється спрощено на основі розрахунку максимального надходження на їх поверхню лише прямої сонячної радіації. Найкращим кутом нахилу приймальної поверхні сонячного модуля вважається такий, при якому сонячні промені в полудень були б перпендикулярні площині приймача. Однак, висота сонця над горизонтом в різні місяці різна, а піднімати чи опускати один з кінців сонячного модуля, неможливо. Тому зазвичай вибирають середній кут нахилу приймача для заданого періоду роботи протягом року, або сезону. Оскільки в березні і у вересні в полудень Сонце складає з вертикаллю кут, що дорівнює широті місцевості φ , то положення Сонця в полудень для будь-якого місяця можна визначити по нахилу Сонця δ (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Кут нахилу сонця в полудень

Місяць року	Грудень	Січень Листопад	Лютий Жовтень	Березень Вересень	Квітень Серпень	Травень Липень	Червень
δ	-23,45	-20	-11,5	0	+11,5	+20	+23,45

Таким чином, у весняні та літні місяці Сонце буде знаходитись вище, ніж в березні і вересні. Вказаним місяцям відповідає знак (+). В осінні та зимові місяці Сонце буде знаходитись нижче. Цим місяцям відповідає знак (-). Доведено, що для круглорічного використання сонячних колекторів, крім 3 – 4-х зимово-осінніх місяців найкращим буде кут S між перпендикуляром до лінії ОС і горизонтальною лінією, тобто рівнем землі (рисунок 2.9). Деяке погіршення сприйняття інсоляції в літні місяці, що залежить від кута нахилу сонячної панелі, компенсується високими температурами навколишнього повітря, внаслідок зменшення теплових втрат.

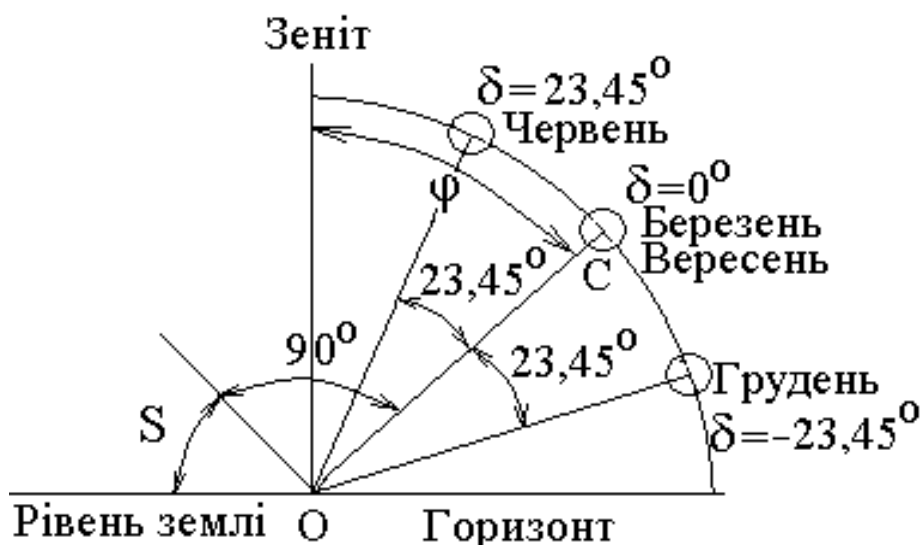


Рисунок 2.9 – Вибір кута нахилу сонячної панелі.

З економічної точки зору більш доцільними є сонячні системи що орієнтовані строго на південь та мають постійний кут нахилу, оскільки системи постійного слідкування за сонцем збільшують вартість установки та експлуатаційні витрати.

Наприклад, для умов Одеського регіону ($\varphi = 46,5^\circ$) для сонячної панелі працює з травня по жовтень крайнім верхнім положенням Сонця у полудень буде точка C_1 , а кут нахилу $\delta = 23,45^\circ$ (рисунок 2.10), а крайнім нижнім положенням Сонця у полудень буде точка C_2 з кутом $\delta = 0^\circ$, середнє положення Сонця для вказаного періоду буде у точці C_3 ($\delta \approx 11,7^\circ$). Кут між перпендикуляром до лінії OC_3 і горизонтальною лінією і є найкращий (оптимальний) середній кут ($S^{\text{опт}}$)

$$S^{\text{опт}} = 46,5 - 11,7 = 34,8^\circ.$$

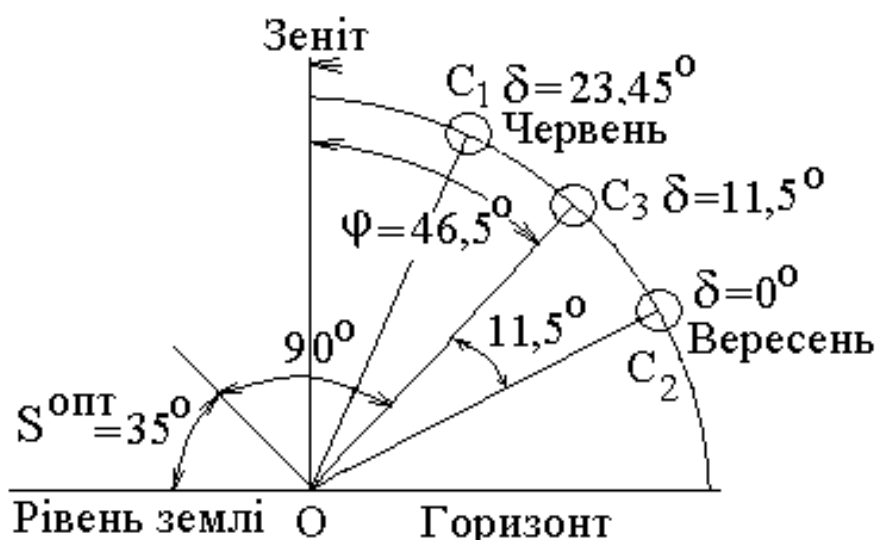


Рисунок 2.10 – Вибір кута нахилу сонячної панелі для Одеси

Розрахунки відносного річного опромінення поверхні, повернутої до екватору (при $\gamma = 0^\circ$), під різними кутами нахилу S , за методикою [25] показують, що максимальної річної прямої сонячної радіації можна досягти за умов, коли кут нахилу поверхні сонячного колектору S наближається до географічної широти місцевості φ , тобто дорівнює $S = 0,9 \cdot \varphi$, при чому для зимового сезону кут нахилу повинен бути $S \approx \varphi + 10^\circ$, а влітку повинен складати $S \approx \varphi - 10^\circ$. Вказано також, що при фіксованому куті S вплив азимутального кута для географічних широт до 45° збільшується з широтою не більше ніж на 2 %.

Проте, наведені відомості стосуються впливу тільки прямої радіації на річну сумарну інсоляцію. При врахуванні впливу розсіяної частки радіації, що має місце навіть в періоди чистого неба, кут орієнтації сонячної панелі дещо

змінюється. Ось чому, якщо при проектуванні сонячних систем не врахувати вплив розсіяної сонячної радіації, можуть виникнути похибки, що призведуть до зменшення ефективності роботи всієї установки.

Задачею раціонального проектування систем сонячного енергозабезпечення є визначення оптимальної орієнтації сонячного колектору, де кут нахилу до горизонту S , повинен забезпечувати максимально можливе надходження як прямої, так і розсіяної складових частин сонячної енергії, що надходить на його поверхню протягом розрахункового періоду ΔN роботи системи.

Оптимальний кут нахилу сонячної панелі, при якому потужність потоку сонячного випромінювання H , що надходить на 1 м^2 його поверхні за вказаний період роботи $\Delta N = N_2 - N_1$ буде максимальною, можна знайти за рівнянням:

$$H = (R \cdot H_0 \cdot k / T_d) \cdot dn \quad (2.22)$$

де R – поправочний коефіцієнт, що дорівнює відношенню потоку сонячного випромінювання, яка надходить по нормалі на нахилену поверхню, до потоку, що надходить на горизонтальну поверхню;

H_0 – густина позаатмосферного потоку сонячної енергії;

k – коефіцієнт хмарності, що дорівнює відношенню потоку сонячної енергії на горизонтальну поверхню до позаатмосферного потоку сонячної енергії;

T_d – тривалість світового дня на широті φ ;

n – порядковий номер дня року.

Відношення потоків сонячної радіації на нахилену та горизонтальну поверхню можна знайти за формулою:

$$R = (H_b / H_r) \cdot R_b + (H_d / H_r) \cdot [1 + \cos(S)] / 2 + r \cdot [1 - \cos(S)] / 2 \quad (2.23)$$

де H_b – пряма сонячна радіація на горизонтальну поверхню;

H_d – розсіяна сонячна радіація на горизонтальну поверхню;

S – кут нахилу геліопанелі до горизонту.

Згідно розрахунків із рахуванням розсіяної радіації середньорічні оптимальні кути нахилу ($S_{рік}^{onm}$) становлять для Києва – $39,7^{\circ}$, Одеси – $37,8^{\circ}$.

При застосуванні методики, що враховує тільки пряму складову частину сонячної радіації, середньорічні кути нахилу геліопанелі для Києва – $45,5^{\circ}$, Одеси – $41,9^{\circ}$, Ялти – $40,1^{\circ}$.

Як показують розрахунки, врахування розсіяної частки сонячної радіації дозволяє додатково вловлювати 4,9 % інсоляції за рік.

Для семи місяців опалювального періоду, протягом яких працює сонячна система енергозабезпечення, результати розрахунків оптимального кута нахилу геліопанелі для Одеського регіону представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Оптимальний кут нахилу геліопанелі для Одеського регіону

Місяць року	H , Вт/м ²	S_{onm} , град.	H^{max} , Вт/м ²	$(H^{max}-H)$, Вт/м ²	$(H^{max}-H)/H \cdot 100$, %
Січень	186	54,6	202	16	7,92
Лютий	212	51,4	231	19	8,23
Березень	252	42,8	258	6	2,33
Квітень	269	28,8	275	6	2,18
Жовтень	263	48,5	280	17	6,07
Листопад	211	54,5	225	14	6,22
Грудень	171	50,5	180	9	5,00
За сезон	223,43	47,5	235,9	12,4	5,42

Як показують результати розрахунків (рисунок 2.11), оптимальний кут нахилу для семи місяців опалювального сезону ($S_{сезон}^{onm}$) для Києва ($\varphi = 50,5^{\circ}$ п.ш.), Одеси ($\varphi = 44,5^{\circ}$ п.ш.), відповідно, становить $50,0^{\circ}$, $47,5^{\circ}$ та $47,0^{\circ}$, а для північних регіонів України знаходиться у межах $S_{сез}^{onm} = 55 - 60^{\circ}$.

Аналіз результатів розрахунків показує, що тільки за рахунок підтримання оптимальної орієнтації геліопанелі можна протягом осінньо-зимового сезону роботи сонячної системи енергозабезпечення додатково вловлювати для

північних та південних регіонів України, відповідно, 4,5 – 5,4 % сонячної енергії.

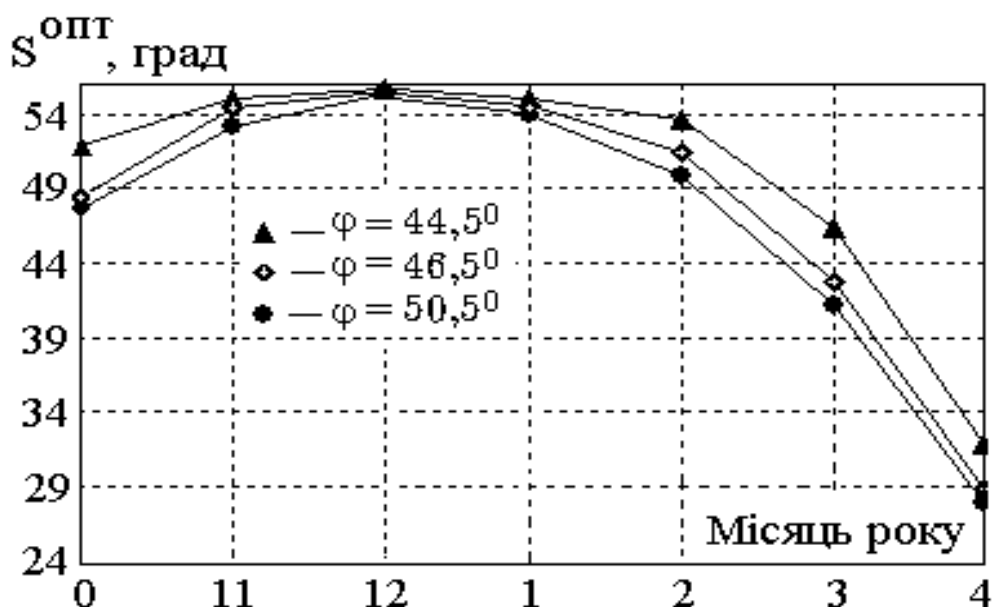


Рисунок 2.11 – Оптимальний кут S_{opt} для різних регіонів України для осінньо-зимового періоду

2.4 Висновки до розділу 2

1. Встановлено, що задачею раціонального проектування систем сонячного енергозабезпечення є визначення оптимальної орієнтації сонячного модуля, де кут нахилу до горизонту S , повинен забезпечувати максимально можливе надходження як прямої, так і розсіяної складових частин сонячної енергії, що надходить на його поверхню протягом розрахункового періоду ΔN роботи системи

2. На основі загальноприйнятих методик здійснено розрахунки оптимальної орієнтації сонячної панелі для всіх географічних регіонів з урахуванням впливу дифузної сонячної радіації, що створює умови для більш ефективної роботи сонячної електростанції без додаткових капітальних витрат на вдосконалення її конструкції.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Концепція створення систем енергозабезпечення на основі вентилязованих фасадів

Концепція створення систем енергозабезпечення на основі вентилязованих фасадів полягає у створенні огорожувальних конструкцій будівель які виконують теплозахисну та енергогенеруючу функції за рахунок сонячних панелей, встановлених на зовнішній стороні фасаду (рисунок 3.1).

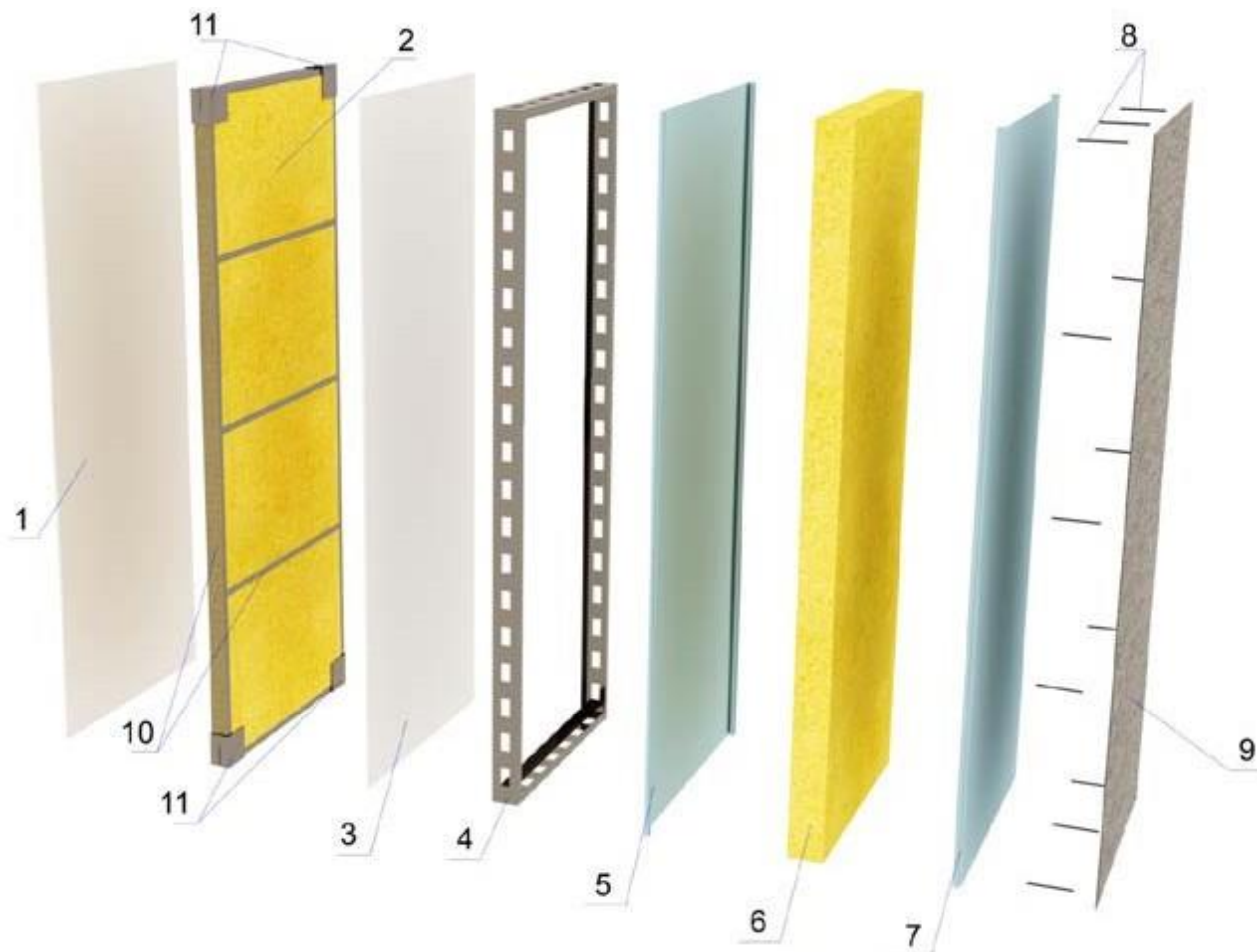
Фасадну систему пропонується виконувати з панелей із закритим вентилязованим повітряним зазором, в який подається тепле повітря попередньо нагріте ґрунтовим теплообмінником.



Рисунок 3.1 – Концепція створення систем енергозабезпечення на основі вентилязованих фасадів.

Результатом аналізу сучасних фасадних рішень стало створення нового типу огорожувальної конструкції - багатошарової вентилязованої фасадної панелі (ВФП). Прототипом для ВФП став один з напрямків європейської

архітектури - кліматичний фасад, або подвійний фасад. Конструкція ВФП (рисунок 3.2).



1 – облицювальна панель; 2 – внутрішній теплоізоляційний шар; 3 – цементна панель; 4 – перфорований каркас; 5,7 – алюмінієвий лист; 6 – зовнішній теплоізоляційний шар; 8 – саморізи; 9 – фотоелектричний перетворювач ; 10 – каркас термопрофілю; 11 – кути внутрішньої утеплюючої панелі.

Рисунок 3. 2 – Конструкція багатошарової вентилярованої фасадної панелі.

Зовнішній шар панелі кріпиться до несучої рами за допомогою саморізів (8). Гнучка сонячна панель може кріпитися до зовнішньої сторони панелі (9).

Опорним елементом є двотаврова балка з ребрами жорсткості, закріплена до кінця залізобетонної плити анкерами (рисунок 3.3).

Зовнішній алюмінієвий шар можна пофарбувати в будь-який колір і

надати йому будь-яку фактуру, змінивши таким чином архітектурний вигляд будівлі. Сучасні технології та обладнання для фотодруку дозволяють наносити на панель будь-який малюнок і фактуру - імітацію дерева, металу і т.п.

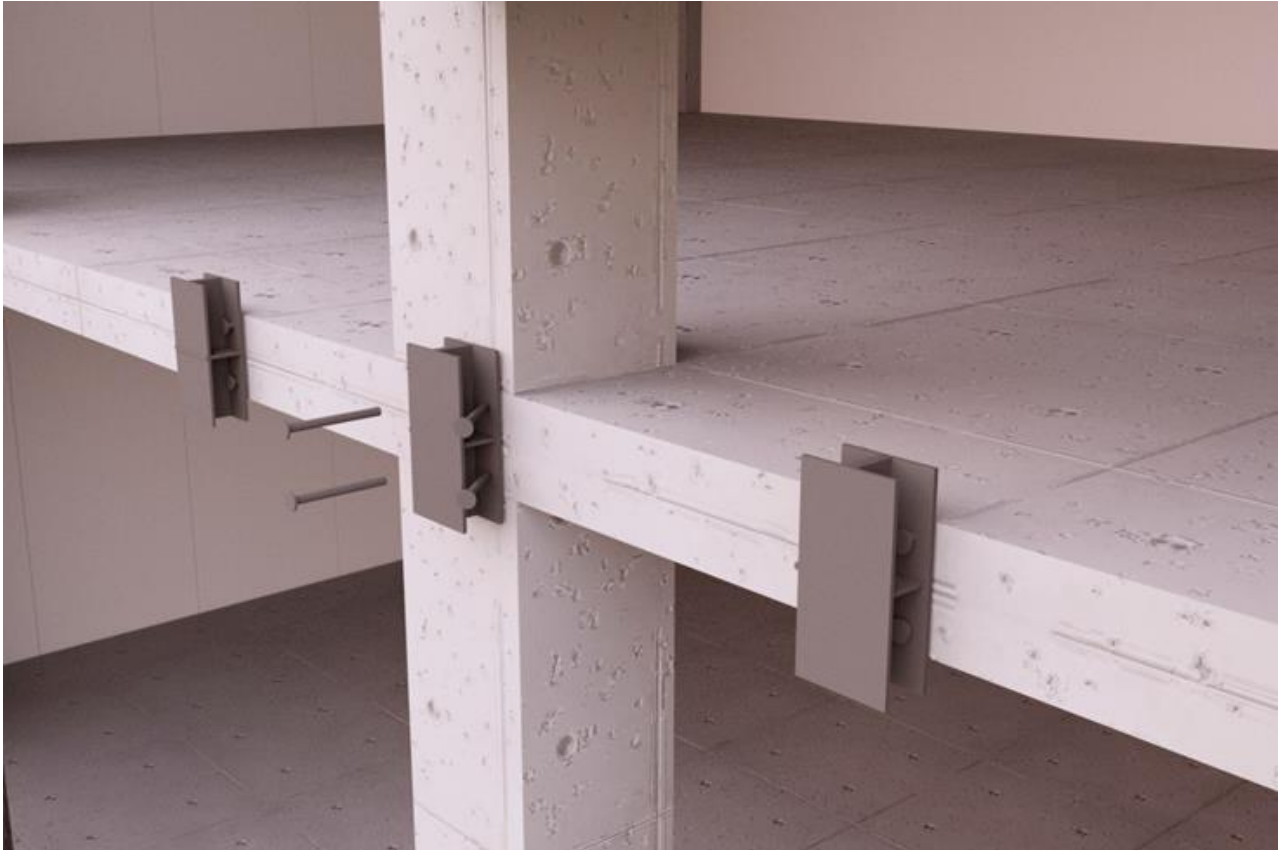


Рисунок 3.3 – Кріплення опорного елемента до торця монолітної плити перекриття.

Захисні шари зберігають теплоізоляційні властивості протягом заявленого терміну служби, перешкоджають її розхитуванню, деформації і проникненню вологи в середину панелі, а також служать поверхнею, готовою для внутрішньої обробки з середини.

Каркас, виконаний з перфорованих профілів для безперешкодного руху повітря, утворює повітряний прошарок по всій площині фасаду будівлі.

Як показано на рисунку 3.4 монтаж панелей розпочинають від низу до верху.

Для ефективної роботи ВФП може використовуватися підземний ґрунтовий теплообмінник. На рисунку 3.5 показано як зовнішнє холодне повітря надходить в підземний теплообмінник, потім надходить в припливно-витяжний



1,2,3,4,5 – номери панелей для монтажу

Рисунок 3.4 – Послідовність монтажу панелей ВФП.

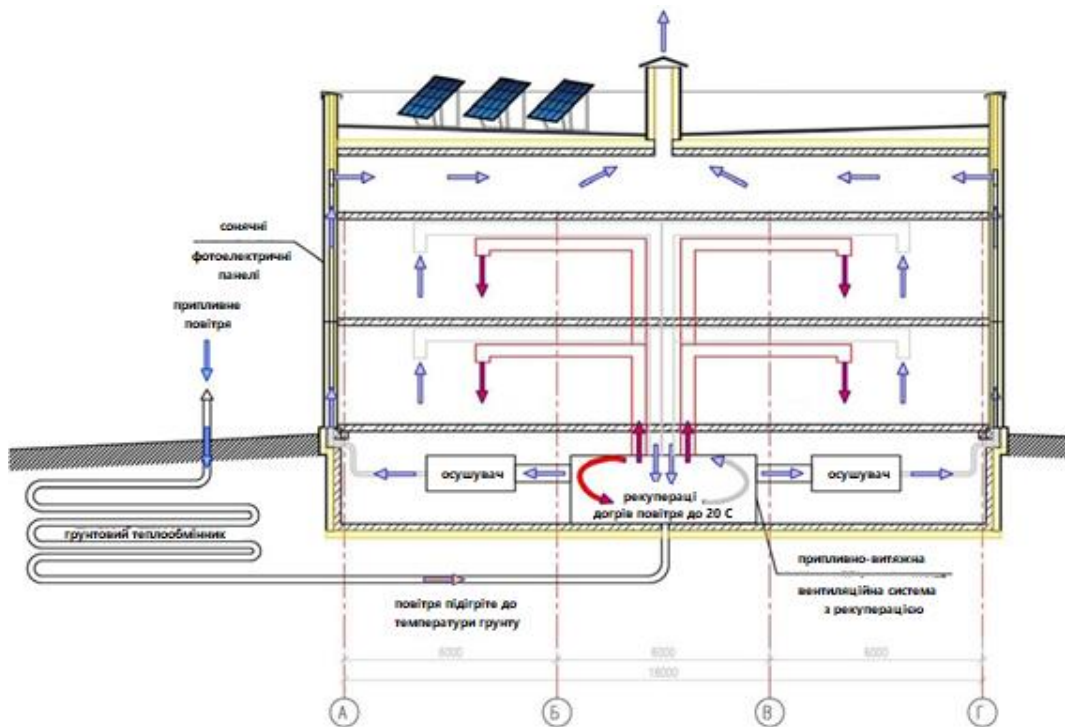


Рисунок 3.5 – Схема роботи ВФП.

вузол, де відбувається нагрівання, а звідти надходить в приміщення. Відпрацьоване повітря спочатку проходить через рекуператор, потім через конденсаційний осушувач повітря, після чого потрапляє в нижню частину вентилязованого повітряного прошарку фасаду. Тепле повітря в зазорі панелей піднімається на верх, де відпрацьоване повітря видаляється через вентиляційні решітки на рівні даху будівлі.

Влітку охолоджене за допомогою наземного теплообмінника повітря до температури ґрунту подається в повітряний прошарок фасаду, в результаті чого знижується необхідна потужність системи кондиціонування.

Такі схеми роботи утворюють замкнутий цикл руху повітряних мас, в результаті чого весь обсяг нагрітого повітря для систем примусової вентиляції спрямований на підтримку плюсової температури в вентилязованому зазорі. Подача нагрітого осушеного повітря відбувається через розподільний лоток, який розташовується під панеллю 1-го поверху на рівні плити перекриття між підвалом і першим поверхом.

Південні ВФП панелі можуть бути додатково покриті тонкоплівковими фотоелектричними перетворювачами.

На рисунку 3.6 наведено загальний вигляд ВФП з боку приміщення і поздовжнього перетину 1-1, на яких показано розташування теплових профілів та ін.

Дана ВФП панель може використовуватися в регіонах з різними кліматичними умовами, цього можна добитись змінюючи деякі параметри (товщину внутрішнього і зовнішнього шарів теплоізоляції, розміри перфорованого профілю і перфорації, температуру подачі осушеного повітря в зазор і ін.). Можливе використання ВФП в якості самостійної навісної огорожувальної конструкції з кріпленням до плит перекриття, а також використання при реконструкції будівель в якості системи утеплення та облицювання фасадів.

Перевагою багат шарової фасадної панелі є швидкість і простота монтажу збільшення терміну служби теплоізоляції, а також значне зниження енерго-споживання будівлі.

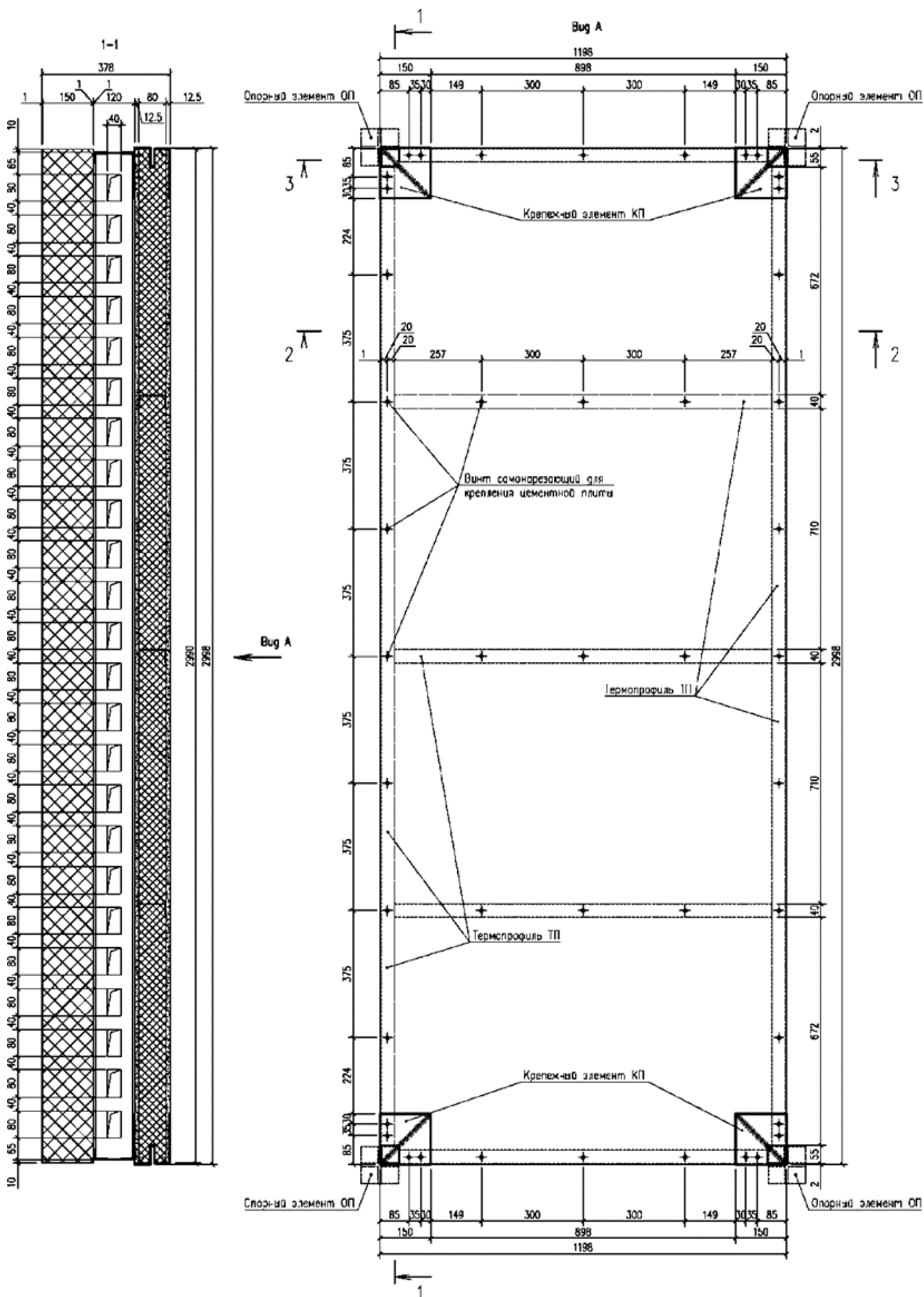


Рисунок 3.5 – Схема работы ВФП. Разріз 1-1.

3.2 Проектування сонячної електростанції як основного елемента системи енергопостачання будинку

3.2.1 Характеристика сонячної електростанції

Як вже згадувалось південні ВФП панелі можуть бути додатково покриті тонкоплівковими фотоелектричними перетворювачами. На прикладі житлового будинку розглянемо будову сонячної електростанції інтегрованої в південний фасад.

Сонячна електростанція складається з:

- 1) Сонячних перетворювачів;
- 2) Інверторів.

На рисунку 3.6 схематично зображено південний фасад. На кожній ВФП панелі можна розміститися 6 фотоелектричних перетворювачів потужністю 100 Вт з ККД 20% (18 В, 5,56 А).

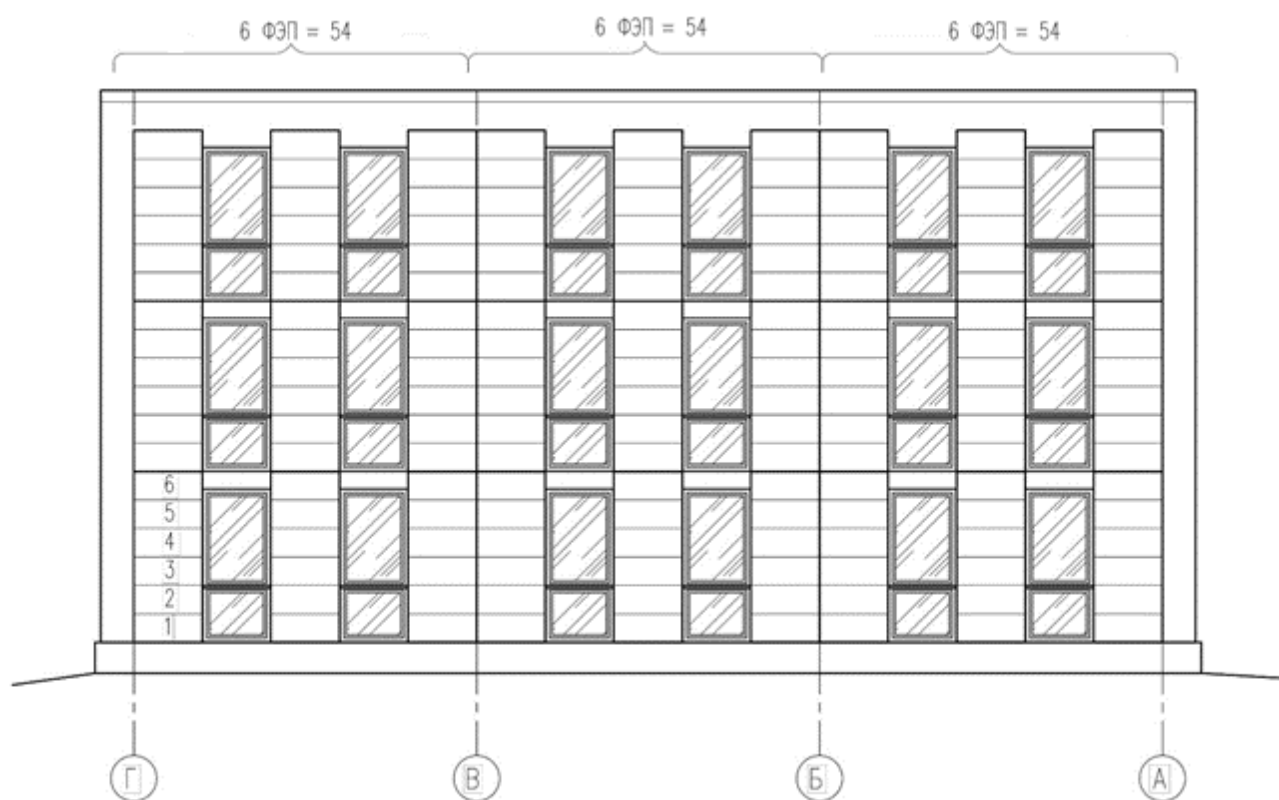


Рисунок 3.6 – Південний фасад з фотоелектричними перетворювачами.

Отже, як впливає з рисунка 3.6 на південному фасаді всього можна розмістити 162 сонячні панелі. Загальна площа сонячної панелі – 97,2 м².

Як показано на рисунку 3.7 сонячній панелі з'єднуються кабелем марки PV - 1F послідовно по 18 штук, утворюючи паралельно з'єднані між собою 9 груп. Пікова потужність сонячної станції – 16,21 кВт.

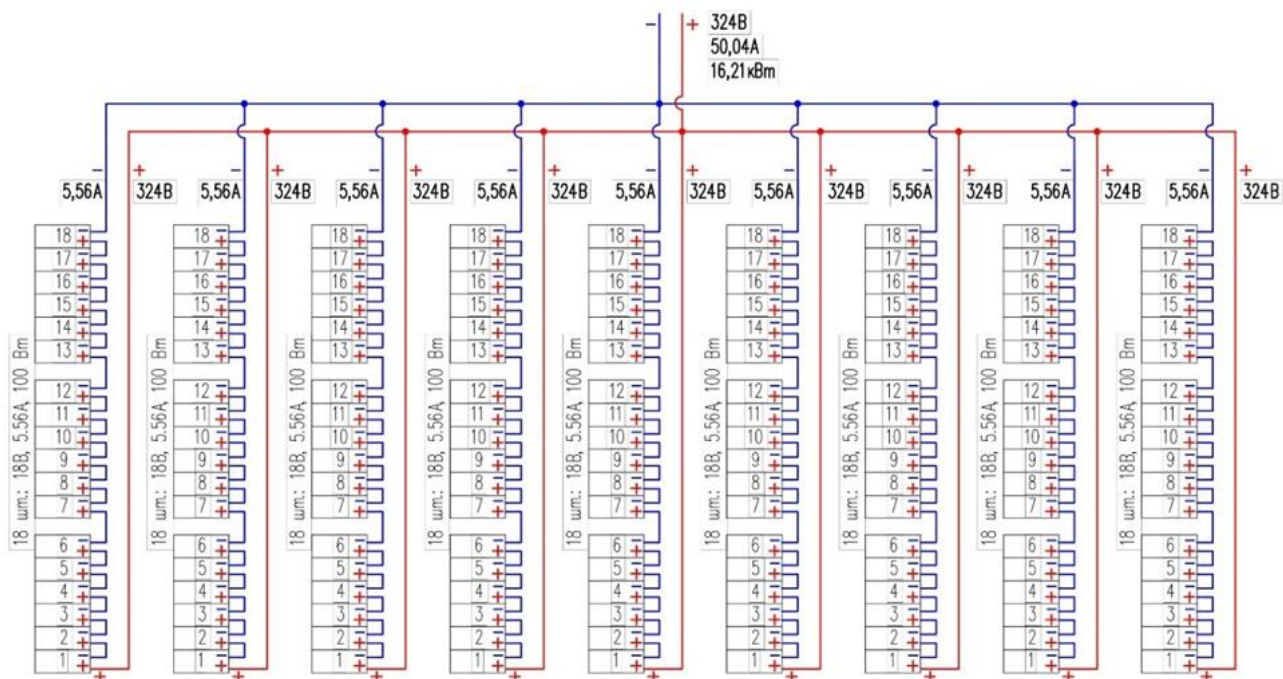


Рисунок 3.7 – Схема з'єднання сонячних панелей.

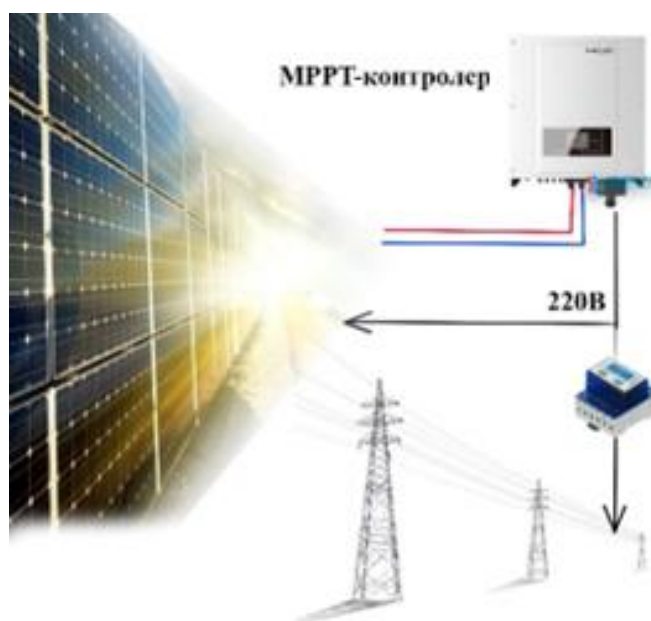


Рисунок 3.8 – Умовна схема сонячної електростанції.

Споживачів які проживають в м. Одеса і житлові будинки яких обладнані у встановленому порядку електроплитами та електроопалювальними установками будуть споживати на 1 особу на місяць:

- 108 кВт·год для 2-кімнатних квартир;
- 91 кВт·год для 3-кімнатних квартир;
- 79 кВт·год 4-кімнатних квартир.

Значення кількості сонячної радіації яка потрапляє на вертикальну поверхню, складає 1000 кВт·год / м² для Києва і 1500 кВт·год / м² для Одеси. Крім того, був розрахований коефіцієнт, що дорівнює відношенню кількості ясних днів у році до кількості днів у році. Для Києва кількість ясних днів в середньому становить 150 днів, для Одеси - 250 днів.

Сумарна річна сонячна радіація з урахуванням прийнятого коефіцієнта для Києва становить 410,95 кВт·год / м², для Одеси - 1027,39 кВт·год / м².

В таблиці 3.1 наведено загальне енергоспоживання житлового будинку для двох міст.

Таблиця 3.1—Загальне споживання електроенергії на квартири житлового будинку

Місто	Кількість кімнат в квартирі	2К	3К	4К	Разом
	Кількість людей, що проживають в квартирі, чел.	2	15	12	29
Київ	Споживання на людину за місяць, кВт·год	117	99	85	-
	Споживання квартирами за місяць, кВт·год	234	1485	1020	2739
	Споживання квартирами за рік, кВт·год	2808	17820	12240	32868
Одеса	Споживання на людину за місяць, кВт·год	108	91	79	-
	Споживання квартирами за місяць, кВт·год	216	1365	948	2529
	Споживання квартирами за рік, кВт·год	2592	16380	11376	30348

В таблиці 3.2 наведено генерацію електричними сонячними панелями з різною ефективністю - 10%, 15%, 20%. При площі панелей, встановлених на пів-денному фасаді рівній 97,2 м², енергетичне виробництво панелями з ККД

20% для м. Києва становить 24 % від загального річного споживання будинком, а для м. Одеса виробництво енергії становить близько 61 %.

Таблиця 3.1– Генерація електроенергії сонячними панелями

	Київ	Одеса	Відношення енергії, виробленої сонячними панелями, до спожитої (%)	
			Київ	Одеса
Річна сумарна сонячна радіація Q, кВт·год/м ² .	410,95	1 027,39		
Величина річної сумарної сонячної радіації, що надходить на фасад, кВт·год.	39 944,34	99 862,30		
Виробництво PV-енергії (з ККД 10%), кВт·год.	3 994,43	9 986,23	12,15	30,38
Виробництво PV-енергії (з ККД 15%), кВт·год.	5 991,65	14 979,34	18,23	45,57
Виробництво PV-енергії (з ККД 20%), кВт·год.	7 988,86	19 972,46	24,30	60,76

3.2.2 Методи і результати експериментального дослідження фотоелектричних перетворювачів

Завдання експерименту формулюється так :

- Дослідити енергетичні характеристик тонкоплівкових фотоелектричних перетворювачів.
- Проаналізувати зміну ККД панелей на основі аморфного і монокристалічного кремнію в залежності від кута нахилу до горизонту.
- Порівняти значення ефективності панелей на основі аморфного і монокристалічного кремнію в однакових умовах сонячної інсоляції .

Влітку 2022 року були проведені експериментальні дослідження енергетичних характеристик фотоелектричних перетворювачів компанії Uni-Solar (Китай). Для моделювання електричного навантаження, були використані лампи освітлення в діапазоні потужностей електричних ламп від 5 до 100 Вт.

Дослідження фотоелектричних сонячних панелей проводилося на території Тернопільської області.

Експериментальна установка представляє собою каркас з OSB плити на яку наклеєна гнучка сонячна панель (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Фото експериментальної установки для дослідження соняч-них панелей.

Додатково панель фіксується металевими хомутами по периметру з кроком 60 см. Сонячна панель виробництва Uni-Solar виготовлена з аморфного кремнію. Розміри панелі - 5000×390 мм (20 частин розмірами 356×239 мм). Номінальна потужність панелі - 144 Вт. Номінальна вихідна напруга 24 В. Паспортний ККД 14%.

Виробник відзначає такі переваги панелі, як:

- 1) невелика вага;
- 2) гнучкість конструкції;
- 3) можливість установки на дах без порушення гідроізоляційного шару;
- 4) висока продуктивність при частковому затіненні і високих температурах.

Сонячна панель постійно орієнтована на південь під кутом 60° .
На рисунку 3.11 Наведено фото експериментального стенду.



Рисунок 3.11 – Фото експериментального стенду.

На рисунку 3.12 наведено дослідну схему, зібравши яку можна проводити вимірювання.

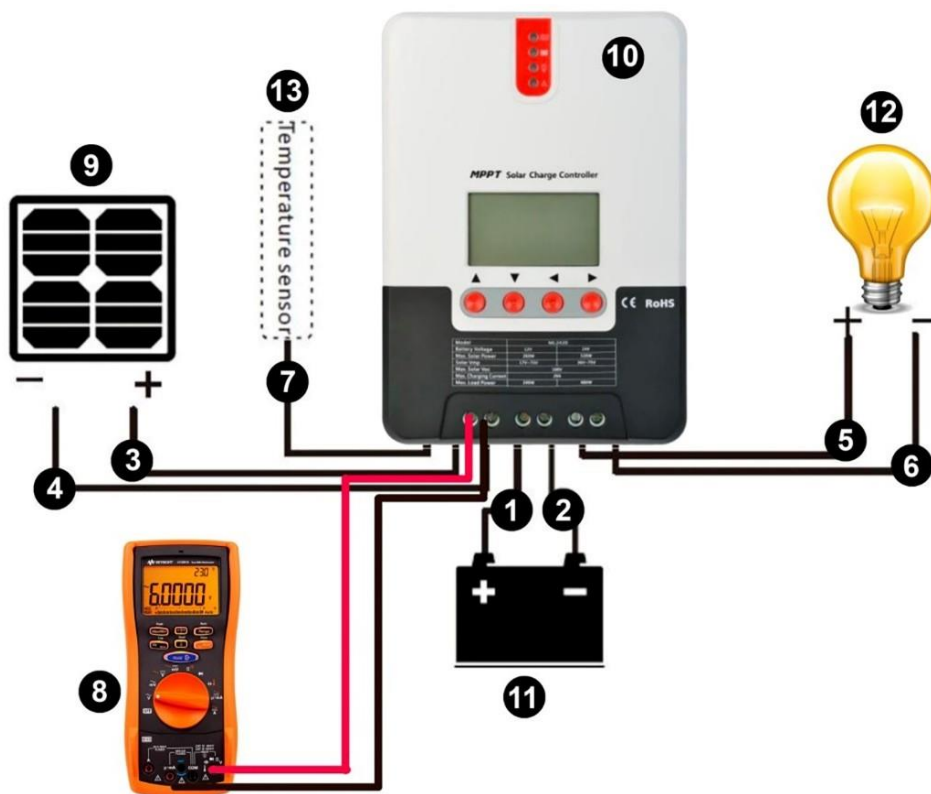


Рисунок 3.12 – Схема дослідної установки.

Контролер заряду (поз. 10 на рисунку 3.12) DELTA SolarSeries серії MPPT 2420 (англ. «Maximum Power Point Tracking» – відслідковування точки максимальної потужності) може відслідковувати моменти максимальної генерації сонячного модуля та відстежувати максимальну напругу та струм у режимі реального часу, що дозволить системі максимально ефективно зарядити акумулятор.

Завдяки технології двопікового або багатопікового стеження, контролер стежить за точкою максимальної потужності, що дозволяє підвищити енергоефективність фотоелектричних систем.

Сонячна панель (поз.9) і мультиметр (поз.8) підключаються до роз'ємів 3 і 4, а акумуляторна батарея (поз.11) (14 В) під'єднується до роз'ємів 1 і 2, навантаження (поз.12) - під'єднують до роз'ємів 5 і 6 . Зовнішній термодатчик (поз.13) під'єднують до роз'єму 7.

Вимірювання напруги і струму проводилися для наступних випадків:

- відсутність навантаження (холостий хід);
- з лампою потужністю 5 Вт (12В);
- з лампою потужністю 10 Вт (12В);
- з лампою потужністю 20 Вт (12В);
- з лампою потужністю 40 Вт (36 В).
- з лампою потужністю 100 Вт (12В).

Вимірювання проводилися двічі: 26 липня при змінній хмарності на небі і 7 серпня з чистим безхмарним небом (рисунок 3.13).

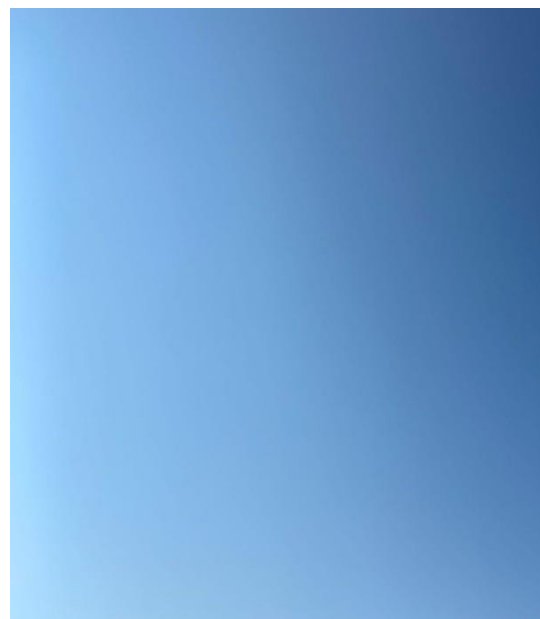
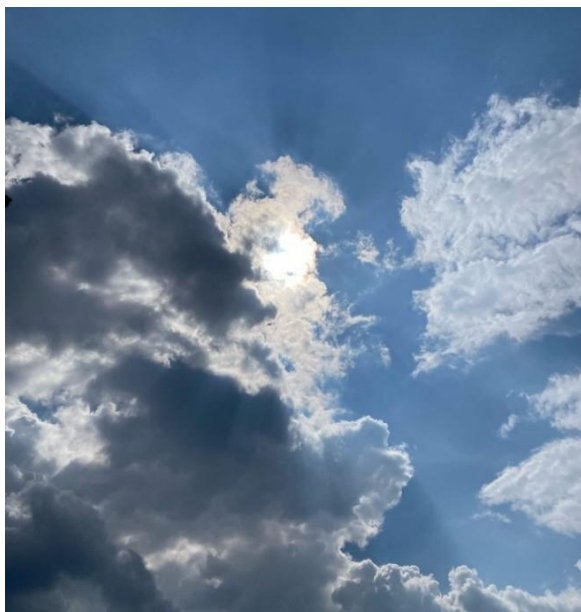


Рисунок 3.13 – Фотографії неба під час експерименту 26 липня (ліворуч) і 7 серпня (праворуч).

При дослідженні СЕС 26 липня спостерігалось зниження заряду акумулятора через 2-3 хвилини після під'єднання навантаження в 100 Вт. Сумарна сонячна радіація в період вимірювання з 12:00 до 13:00 склала 117, 66 Вт / м².

При такому ж навантаженні в 100 Вт 7 серпня заряд акумулятора після 10 хвилин вимірювань струму і напруги був рівним 100%. Сумарна сонячна радіація в період вимірювання з 12:00 до 13:00 склала 644, 57 Вт / м².

Поруч з експериментальною установкою на майданчику була змонтована ще одна сонячна панель на основі монокристалічного кремнію потужністю 150 Вт, з номінальною вихідною напругою 12 В (рисунок 3.14) і такою ж орієнтацією та кутом нахилу до горизонту. 7 серпня з 09:00 до 21:00 проводились вимірювання струму короткого замикання $I_{кз}$ (рисунок 3.15) і напруги холостого ходу $U_{хх}$ (рисунок 3.16) для двох сонячних елементів на основі аморфного і монокристалічного кремнію.



Рисунок 3.14 – Фото сонячних панелей на основі монокристалічного кремнію потужністю 150 Вт.

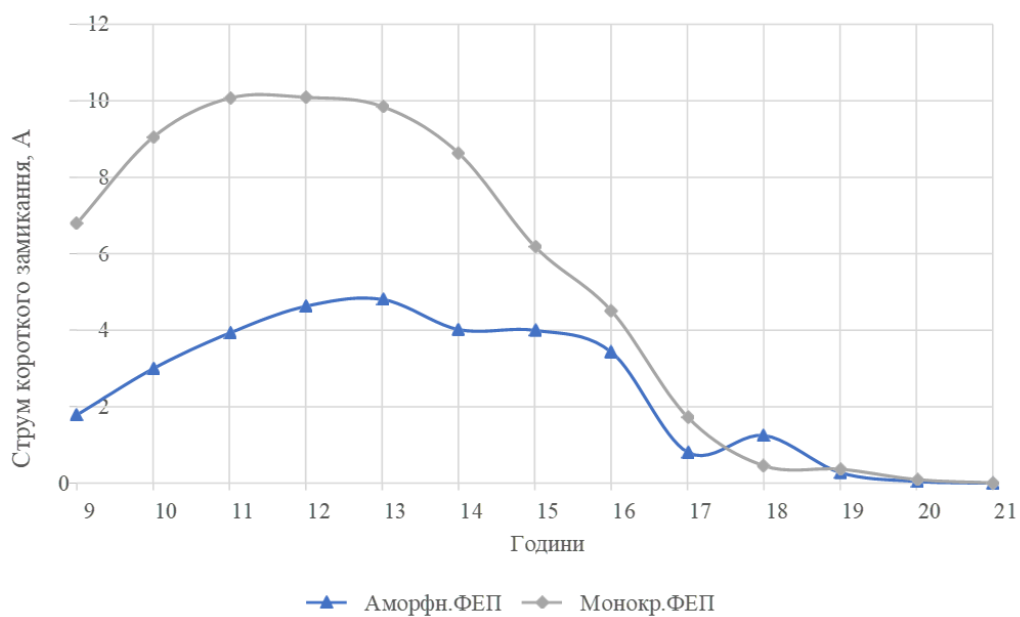


Рисунок 3.15 – Графік зміни струму короткого замикання $I_{кз}$ ФЕП панелі на основі аморфного і монокристалічного кремнію.

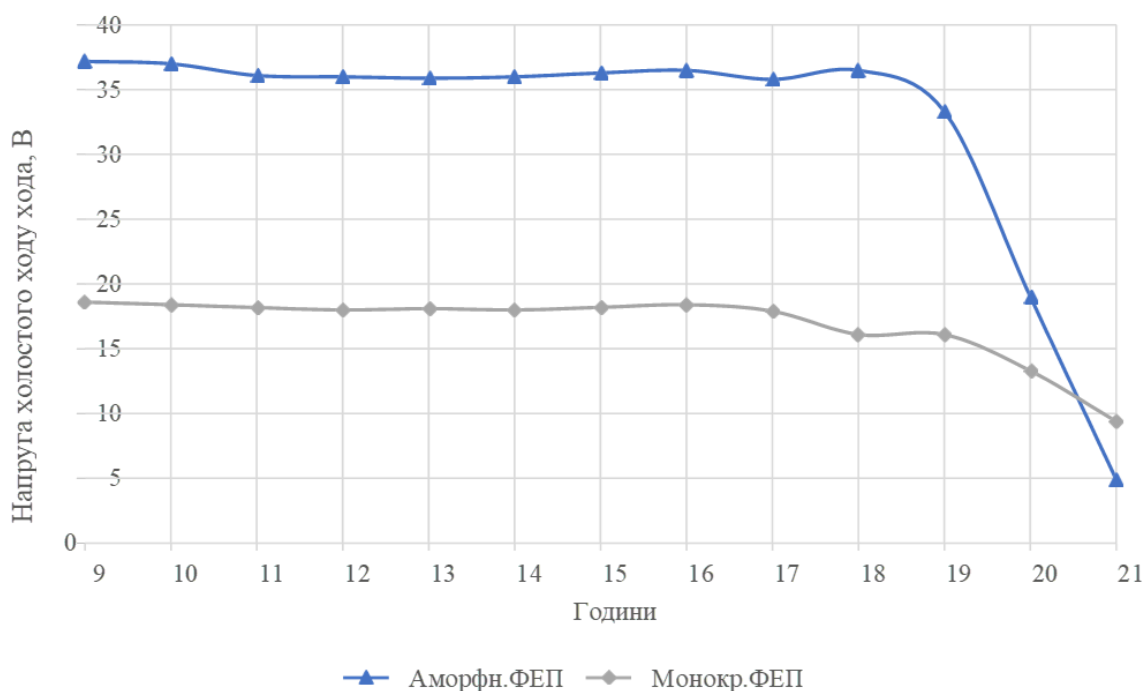


Рисунок 3.16 – Графік зміни напруги холостого ходу U_{xx} для ФЕП панелей на основі аморфного і монокристалічного кремнію.

На рисунку 3.17 наведено графік зміни струму короткого замикання і напруги холостого ходу для двох типів панелей.

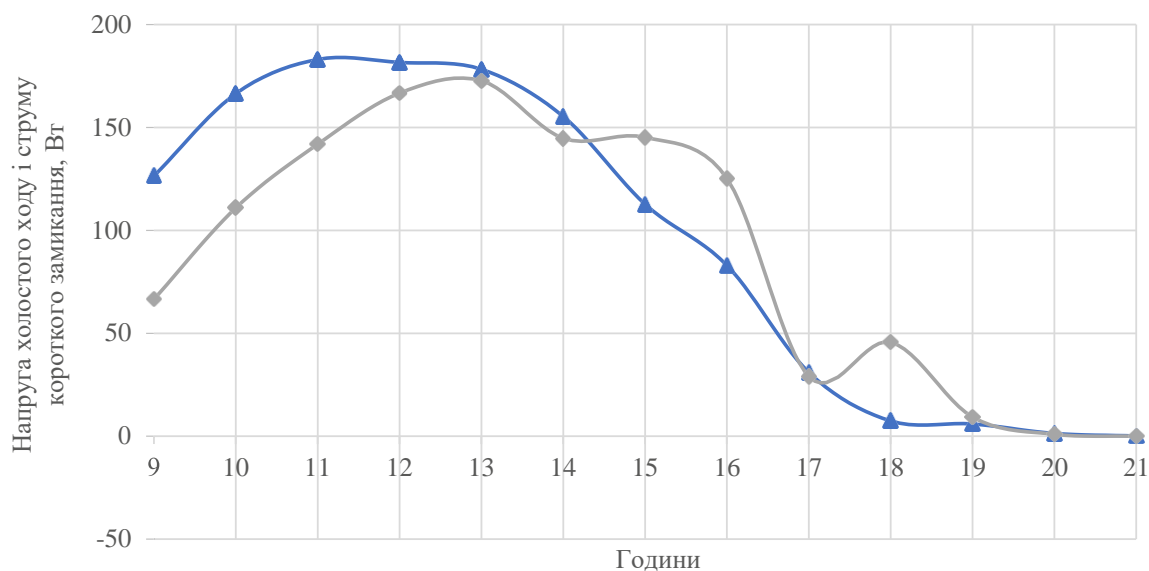


Рисунок 3.17 – Графік зміни напруги U_{xx} і струму короткого замикання $I_{кз}$ для двох типів панелей.

В ході експерименту були отримані граничні значення коефіцієнтів ефективності для сонячних елементів на основі аморфного і монокристалічного

кремнію. Коефіцієнти ефективності для різних сонячних елементів визначаються як відношення виробленої енергії до сонячного випромінювання, отриманого на їх поверхні (рисунок 3.18).

$$\eta_{\text{аморфн}} = \frac{U_{\text{лх}} J_{\text{кз}}}{S_{\text{аморфн}} Q} \cdot 100\% = \frac{172,679}{1,95 \cdot 753,447} \cdot 100\% = 11,75\% \quad (3.1)$$

$$\eta_{\text{монокр}} = \frac{U_{\text{лх}} J_{\text{кз}}}{S_{\text{монокр}} Q} \cdot 100\% = \frac{183,073}{2,16 \cdot 753,447} \cdot 100\% = 11,25\% \quad (3.2)$$

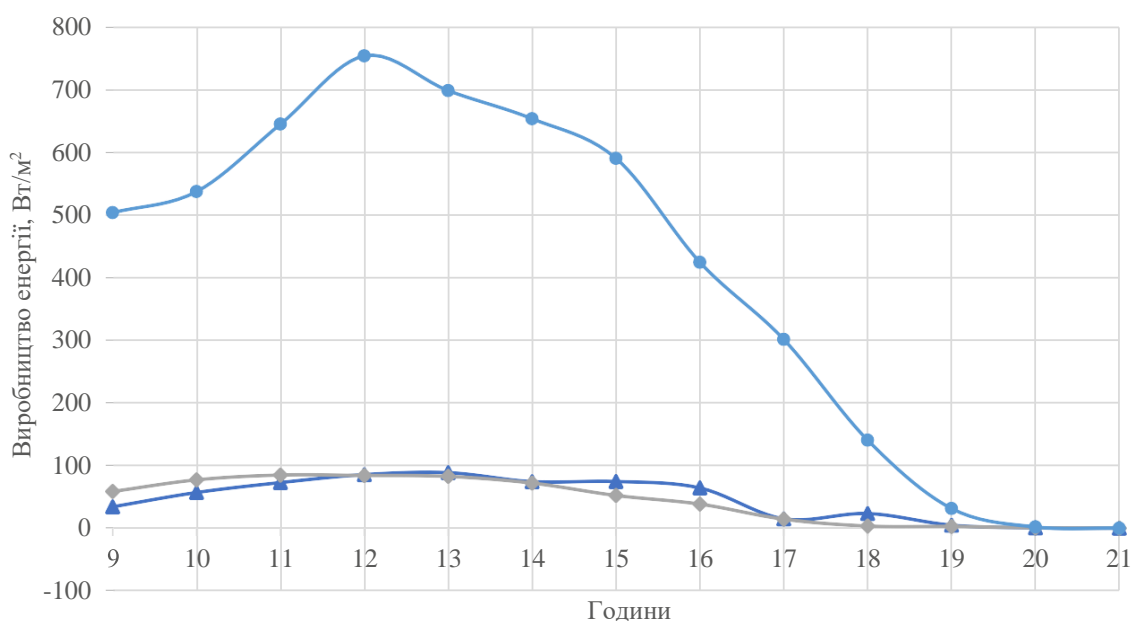


Рисунок 3.18 – Виробництво енергії сонячними панелями на основі аморфного і монокристалічного кремнію

Криві зміни ККД в період з 11:00 до 15:00 для ФЕП на основі аморфного і монокристалічного кремнію наведені на рисунку 3.19.

Отримані експериментальні значення дозволили проаналізувати і порівняти струм короткого замикання і напругу холостого ходу для різних сонячних елементів при зміні кута нахилу до горизонту.

На рисунку 3.20 показані криві залежності $I_{\text{кз}}$ і $U_{\text{хх}}$ від положення панелей.

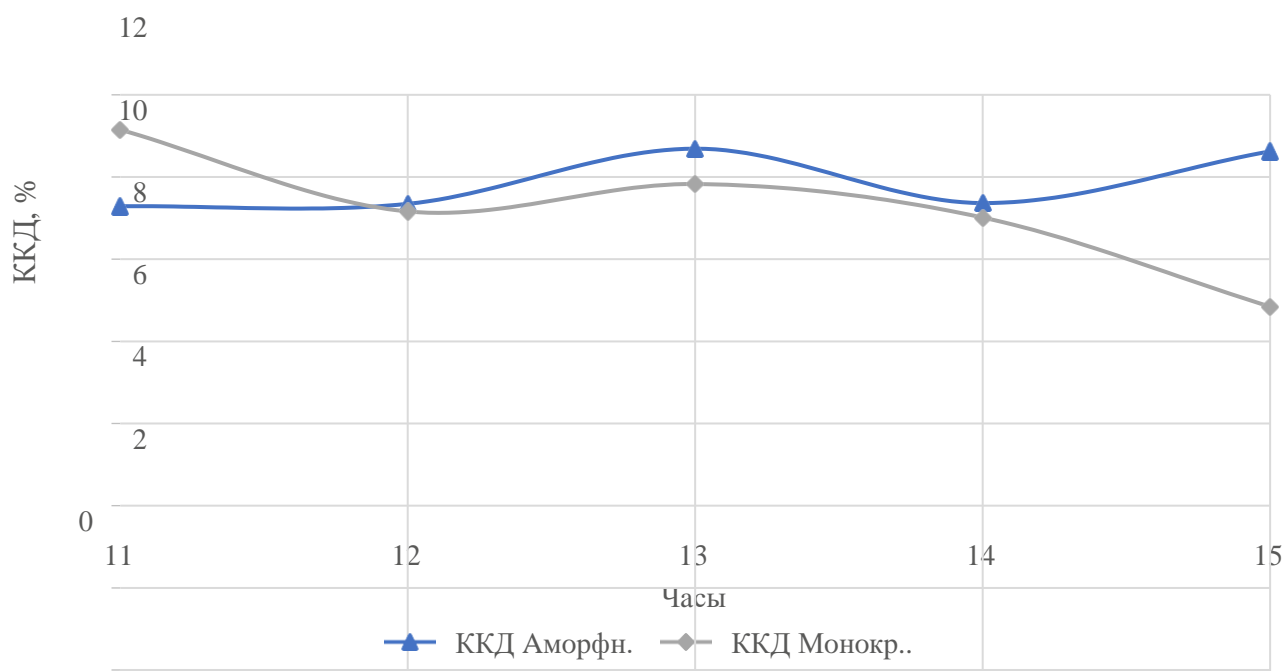


Рисунок 3.19 – Графік зміни ККД в період з 11:00 до 15:00 для ФЕП на основі аморфного і монокристалічного кремнію.

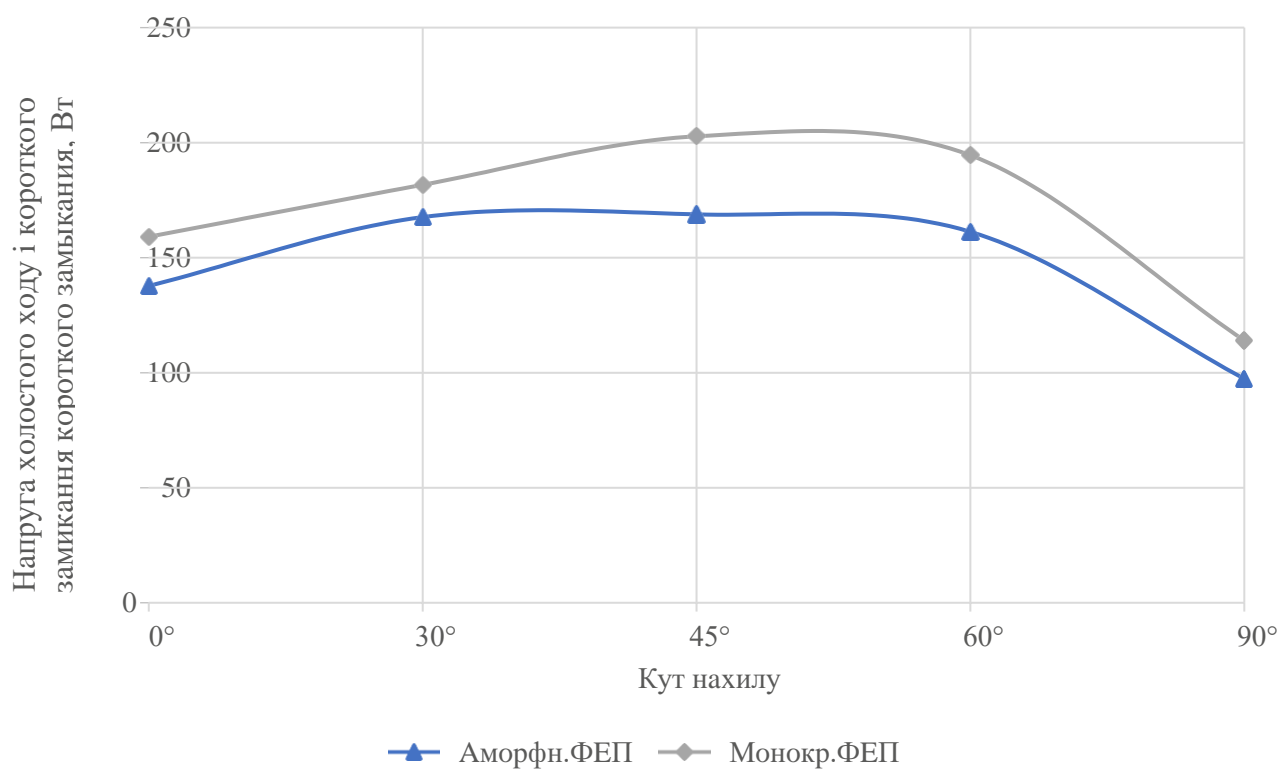


Рисунок 3.20 – Графік зміни напруги U_{xx} і струму короткого замикання $I_{кз}$ різних ФЕП в залежності від кута нахилу до горизонту.

3.3 Висновки до розділу 3

1. Запропоновано та розроблено нову концепцію використання відновлюваних джерел енергії в будівлях з метою підвищення їх енергоефективності.

2. Запропонована конструкція сонячної електростанції інтегрованої в фасад будівлі, дозволяє оцінити ефективність використання сонячних елементів на вертикальних поверхнях для регіонів з різним річним сумарним сонячним випромінюванням.

3. Отримані експериментальні залежності ККД сонячних елементів на основі аморфного і монокристалічного кремнію від кута нахилу до горизонту дозволяють оцінити зниження ефективності при установці на вертикальних поверхнях.

4. Проведено аналіз зміни ефективності панелей на основі аморфного і монокристалічного кремнію в однакових умовах сонячної інсоляції, що дає можливість порівняти енергетичні характеристики сонячних елементів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз факторів ризику при експлуатації систем сонячного теплопостачання

Основним фактором, який має безпосередній вплив на організм людини при експлуатації та обслуговуванні систем сонячного постачання, є ультрафіолетове випромінювання.

Ультрафіолетовим випромінюванням (УФВ) називають електромагнітні випромінювання в оптичній ділянці з довжиною хвилі в діапазоні 200-380 нм.

За способом генерації воно належить до теплового випромінювання, але за своєю дією подібне до іонізуючого випромінювання. Природнім джерелом УФВ є сонце. Штучними джерелами є електричні дуги, лазери, газорозрядні джерела світла. Генерація ультрафіолетового випромінювання починається при температурі тіла понад 1200 °С, а його інтенсивність зростає з підвищенням температури. Енергетичною характеристикою УФВ є густина потоку потужності, яка вимірюється у Вт/м².

Інтенсивність випромінювання та його електричний спектральний склад залежить від температури поверхні, що є джерелом УФВ, наявності пилу та загазованості повітря. Вплив УФВ на людину кількісно оцінюється за еритемною дією, тобто в почервонінні шкіри, яке в подальшому (як правило, через 48 годин) призводить до її пігментації (засмаги).

УФВ має незначну проникаючу здатність. Воно затримується верхніми шарами шкіри людини. Ультрафіолетове випромінювання необхідне для нормальної життєдіяльності людини. За тривалої відсутності УФВ в організмі людини розвиваються негативне явище, яке отримало назву «світлового голодування».

У той же час тривала дія значних доз УФВ може призвести до враження очей та шкіри. Враження очей гостро проявляються у вигляді фото- або електрофтальмії. Тривала дія УФВ довжиною хвилі 200-280 нм може призвести

до утворення ракових клітин. УФВ впливає на центральну нервову систему, викликає головний біль, підвищення температури, нервові збудження, зміни у шкірі та крові.

Випромінювання ділянки 315-380 нм має слабку біологічну дію, переважно флуоресценцію. Випромінювання в ділянці 200-280 нм руйнує біологічні клітини, викликає коагуляцію білків. Короткохвильове випромінювання змінює освітлення робочих місць, іонізує повітря. Природне короткохвильове ультрафіолетове випромінювання (виходить від сонця) не потрапляє на Землю, а поглинається озоновим шаром. Для УФВ, в залежності від ділянки випромінювання, встановлена допустима густина потоку енергії у Вт/м², яка наведена у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Допустима густина потоку енергії

Ділянка випромінювання	Довжина хвилі, нм	Допустима густина потоку енергії, Вт/м ²
А	380...315	10
В	315...280	0,05
С	280...200	0,001

До заходів захисту від УФВ належать конструкторські та технологічні рішення, які або усувають генерацію УФВ, або знижують його рівень. Застосовується екранування джерел УФВ. Екрани можуть бути хімічними (хімічні речовини, які містять інгредієнти, що поглинають УФВ) і фізичними (перепони, віддзеркалюючі або поглинаючі промені). Ефективним засобом захисту від дії УФВ є одяг, виготовлений із спеціальних тканин, що затримують УФВ (наприклад, із попліну, бавовни). Для захисту очей використовують окуляри із захисним склом. Руки захищають рукавицями.

4.2 Заходи для забезпечення електробезпеки

Експлуатація обладнання неминуче пов'язана з використанням електричної енергії. Електробезпека – це система організаційних, технічних

заходів і засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, спричиняє термічну, електролітичну і біологічну дію, викликає місцеві і загальні електротравми. Дія електричного струму на організм людини супроводжується зовнішнім ураженням тканин та органів у вигляді механічних ушкоджень, електричних знаків електрометалізації шкіри, опіків.

Термічна дія струму виявляється в опіках окремих ділянок тіла, ураженні внаслідок високої температури кровоносних судин, нервових клітин, серця, мозку, що призводить до серйозних функціональних розладів.

На підприємствах теплопостачання споживачами електроенергії є: електроприводи, освітлювальні прилади, електрощит. Все це обладнання може стати небезпечним при виникненні короткого замикання, пробією ізоляції, оголення проводів, попадання струму на струмоведучі частини обладнання. Для уникнення небезпечної дії електричного струму на персонал котелень проводяться заходи з метою уникнення ураження працівників струмом.

Для забезпечення роботи електрообладнання використовується напруга 380 та 220 В, яка є смертельно небезпечна для людини. Вражаюча дія електричного струму при цій напрузі залежить від наступних факторів: величини і тривалості протікання струму через тіло людини, роду і частоти струму, індивідуальних властивостей людини. Людина починає відчувати струм величиною 0,6 – 1,5 мА. Струм 10-15 мА (при $f = 50$ Гц) викликає судомні м'язів, які людина не може подолати сама. Цей струм називається пороговим невідпускаючим. При 100 мА і тривалості дії більше 0,5 с струм може спричинити зупинку або фібриляцію серця. Опір тіла людини різко падає в залежності від часу дії струму. Найбільш небезпечним є змінний струм з частотою 20 – 100 Гц. Постійний струм людина відчуває при 6-7 мА, пороговий невідпускаючий струм складає 50-70 мА, а фібриляційний – 300 мА.

Заходи по захисту, які застосовують на підприємствах теплопостачання, поділяють на заходи, які забезпечують безпеку при нормальному режимі роботи

електроустановок, і заходи, які забезпечують безпеку при аварійних режимах. При нормальному режимі роботи безпека в електроустановках забезпечується наступними заходами:

- ізоляцією струмоведучих частин;
- виконання електричних мереж, ізольованих від землі;
- компенсацією ємнісної складової струму замикання на землю;
- недоступністю струмоведучих частин.

Захисне заземлення – це спеціальне електричне з'єднання з землею металічних не струмопровідних частин обладнання, які можуть опинитися під напругою. Заземлюючий пристрій складається з заземлювача і заземлюючого провідника, який з'єднує заземлювані частини з заземлювачем. В якості заземлювачів використовують металічні конструкції і арматуру залізобетонних конструкцій, які мають сполучення з землею.

Захисне відключення – це швидкодіючий захист, який забезпечує автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження людини електричним струмом. Установка автоматичного відключення, яка застосовується на котельнях повинна відповідати наступним вимоги: висока чутливість, малий час відключення, селективність роботи, самоконтроль і надійність.

4.3 Заходи для запобігання виникнення пожежі

Як уже зазначалось, 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.-91.

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.

4.4 Фактори, що впливають на протипожежну стійкість об'єкту

Важливим питанням забезпечення стійкості роботи під час надзвичайних ситуацій є стійкість до світлового випромінювання. Внаслідок дії енергії світлового імпульсу на підприємстві може виникнути складна пожежна обстановка, оскільки на зберіганні знаходиться значна кількість горючих речовин і обладнання.

Світлове випромінювання ядерного вибуху є електромагнітним випромінюванням в ультрафіолетовій, видимій і інфрачервоній областях спектру.

Джерелом світлового випромінювання є область що світиться (вогняна куля), що складається з розжарених продуктів вибуху і повітря. З цієї області випромінюється величезна кількість променистої енергії в надзвичайно короткий проміжок часу, унаслідок чого відбувається швидкий нагрів опромінюваних предметів, обвуглювання або запалювання горючих матеріалів і опік живих тканин.

На частку світлового випромінювання припадає 30...40 % всієї енергії атомного або термоядерного вибуху. На відкритій місцевості світлове випромінювання має великий радіус дії в порівнянні з ударною хвилею.

Основним параметром, що характеризує вражаючу дію світлового випромінювання, є світловий імпульс $I_{\text{СВ}}$. Світловий імпульс – це кількість світлової енергії, випадаючої на 1 м^2 освітлюваної поверхні, що перпендикулярна до напрямку розповсюдження випромінювання, за весь час дії вибуху (вогняної кулі).

Світловий імпульс в даній точці пропорційний потужності ядерного вибуху і обернено пропорційний квадрату відстані до центру вибуху. На світловий імпульс також впливають вид ядерного вибуху, стан (прозорість) атмосфери і інші чинники.

При наземних вибухах світловий імпульс на поверхні землі при тих же відстанях буде приблизно на 40 % меншим ніж при повітряних вибухах такої ж потужності. Пояснюється це тим, що в горизонтальному напрямі випромінюється не вся поверхня сфери вогняної кулі, а лише половина сфери, хоча і більшого радіусу.

Якщо земна поверхня добре відбиває світло (сніговий покрив, асфальт, бетон і ін.), то сумарний світловий імпульс (прямий і відбитий) при повітряному вибуху може бути більше прямого в 1,6...2 рази.

В атмосфері завжди відбувається ослаблення променистої енергії через розсіювання і поглинання світла частинками пилу, диму, краплями вологи (туман, дощ, сніг). Ступінь прозорості атмосфери прийнято оцінювати коефіцієнтом K , що характеризує ступінь ослаблення світлового потоку. Вважається, що в великих промислових містах ступінь прозорості атмосфери можна характеризувати видимістю в 10...20 км; в приміських районах - 30...40 км, а в районах сільської місцевості, де ступінь забруднення повітря найменший, видимість досягає 60...80 км.

Світлове випромінювання, падаючи на об'єкт, частково поглинається, частково відбивається, а якщо об'єкт пропускає випромінювання, то частково

проходить крізь нього. Скло, наприклад, пропускає більше 90 % енергії світлового випромінювання.

Ступінь ураження будь-якого матеріалу під дією світлового випромінювання при одному і тому ж світловому імпульсі залежить від коефіцієнта поглинання, фізичних властивостей (густини, теплоємності, теплопровідності), товщини матеріалу і інших чинників. Матеріали темного кольору більше поглинають світлове випромінювання, ніж світлі, а тому ушкоджуються швидше. Предмети, забарвлені чорною фарбою, поглинають близько 96 % світлового випромінювання, а білою -18 %.

Чим більша потужність ядерного вибуху, тим більший світловий імпульс потрібен для запалювання одного і того ж матеріалу. Це пояснюється тим, що при великій потужності вибуху опромінювання світлом матеріалу триває довше. За цей час частина тепла втрачається за рахунок проникнення з поверхні в глибину матеріалу в результаті його теплопровідності.

Дія світлового випромінювання ядерного вибуху на будівлі і споруди об'єктів народного господарства виявляється у виникненні загорянь і пожеж, що викликають руйнування і знищення матеріальних цінностей, у ряді випадків перевершуючі по масштабах руйнування від ударної хвилі.

За оцінкою фахівців пожежної служби мінімальним розрахунковим світловим імпульсом, що викликає загоряння і пожежі, може бути імпульс в 100... 150 кДж/м², при якому відбувається запалювання горючих матеріалів (сіна, соломи, стружки, обривків газетного паперу, сухого сміття і інших легкозаймистих речовин). Тому скупчення займистого сміття поблизу будівель – реальна загроза виникнення пожежі.

На промислових підприємствах можуть утворюватися окремі або суцільні пожежі. Окрема пожежа виникає в окремій будівлі або споруді. Суцільна пожежа характеризується тим, що всі або більшість будівель і споруд підприємства, що займають значну площу, охоплені вогнем.

Середня кількість спалахів від світлового імпульсу, що припадає на одиницю площі забудови, за інших однакових умов залежить від

протипожежної готовності об'єкту. При добрій протипожежній підготовці об'єкту кількість пожеж може бути значно понижена, а для деяких виробництв зведена до нуля. Ця задача може бути успішно вирішена при обліку конкретних умов і основних чинників, що впливають на виникнення і розповсюдження пожеж на об'єкті.

На виникнення і розповсюдження пожеж впливають, головним чином, такі чинники: вогнестійкість будівель і споруд; пожежна небезпека виробництва; густина забудови; метеорологічні умови і ін.

Вогнестійкість будівель і споруд визначається займистістю їх елементів і межами вогнестійкості основних конструкцій (частин) будівель і споруд.

Займистість того або іншого елемента будівлі визначається займистістю будівельних матеріалів, з яких він виконаний. Всі будівельні матеріали по займистості діляться на три групи: не згораючі, важкоспалимі, згораючі.

Межа вогнестійкості будівельної конструкції – це період часу в годинах від початку дії вогню на конструкцію до утворення в ній наскрізних тріщин або до досягнення температури 200 °С на поверхні, протилежній дії вогню, або до втрати конструкцією несучої здатності (обвалення).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У відповідності з метою роботи були вирішені задачі дослідження та одержані наступні результати:

1. Встановлено, що у зв'язку з високою вартістю викопних видів палива та нестабільністю їх постачання набирають популярності технології використання поновлюваних джерел енергії для енергозабезпечення будинків.

2. Запропоновано створити новий тип вентильованих фасадних панелей з інтегрованими фотоелектричними перетворювачами сонячної енергії для енергопостачання та створення теплової оболонки навколо будівлі.

3. Проведено дослідження властивостей фотоелектричних перетворювачів на основі аморфного і монокристалічного кремнію. В результаті дослідження були встановлені зв'язки між кутом нахилу до горизонту панелей і ККД для двох типів перетворювачів. Було встановлено, що при встановленні на вертикальну поверхню їх ККД знижується на 30-35% для ПВ на основі аморфного і моно-кристалічного кремнію щодо максимуму.

4. Проведено теоретичні дослідження потенціалу фасадної сонячної електростанції для регіонів з різною сумарною сонячною радіацією. Використання сонячної електростанції дозволяє знизити витрати електроенергії за опалювальний період більш ніж на 40 % .

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дорошенко А.В, Шестопапов К.А., Ахизер В.К., Концов М.М. Новые типы солнечных коллекторов для альтернативных систем горячего водоснабжения, Научно-практическая конференция “Енергосберігаючі технології в будівництві та архітектурі”, Одесса. - 2004.
2. ДСТУ 2155-93. Энергобереження. Методи визначення економічної ефективності заходів з енергобереження. – Київ: держстандарт України, 1993.
3. Закон України “Про енергобереження” Постанова Верховної Ради України №75/94 – ВР від 1 липня 1994 р.
4. Зоколей С. Солнечная энергия в строительстве. – М.: Стройиздат, 1979.
5. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
6. Кирилин В.А. Энергетика. Главные проблемы. М.: Знание, 1990. – 128 с.
7. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Особливості формування енергосберігаючої політики України. – К.: Держкоменергосбереження України, 1996 – 72 с.
8. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Энергобереження – пріоритетний напрямок державної політики України. – К.: Укр. Енциклопедія знання, 1998. – 551с.
9. Колтун П., Дорошенко А.В., Концов М.М., Шестопапов К.А, Солнечные холодильные машины, 2-я Международная научно-техническая конференция, посвященная 300-летию Санкт-Петербурга «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». - Санкт-Петербург. 2003.
10. Комплексна державна програма енергосбереження України. – К.: Держкоменергосбереження України. – 1996. – 234 с.
11. Концов М. М., Белал Брахим, Шестопапов К.А. Экспериментальное изучение сравнительных характеристик плоских солнечных коллекторов // Холодильная техника и технология. – 2001, № 5 (74) с. 34 – 37.

12. Корейша О.В., Шестопапов К.А., Дорошенко А.В. Возможности использования солнечной энергии для обеспечения регенерации в абсорбционных холодильных системах // Сборник научных работ Международной научно-технической конференции “Энергоэффективность 2004”. (Дополнение к журналу “Холодильная техника и технология.”) – Одеса. – 2004. с. 272-279.

13. Алхасов А.Б. Освоение низкопотенциального геотермального тепла / А.Б. Алхасов, Д.А. Алхасова, М.Г. Алишаев; под общ. ред. В.Е. Фортова. – М.: Физматлит, 2012. – 280 с.

14. Брянцева Е.В. Исследования комбинированной системы теплоснабжения на основе геотермальной и солнечной энергии: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08/ Брянцева Елена Витальевна. – М., 2016. – 107 с.

15. Сидельников А.И. Разработка методики технико-экономического обоснования структуры и параметров энергокомплекса на базе возобновляемых источников энергии: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08/ Сидельников Андрей Иванович. – М., 2006. – 121 с.

16. Тихонов А.В. Повышение эффективности комбинированных систем автономного электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08/ Тихонов Антон Валентинович. – М., 2013. – 169 с.

17. Афонин В.С. Совершенствование методов обоснования и оптимизации автономных энергокомплексов на базе теплового насоса, солнечных коллекторов и фотоэлектрических модулей: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08/ Афонин Вячеслав Сергеевич. – М., 2014. – 113 с.

18. Ко А. Исследование эффективности использования энергокомплексов на основе солнечных и теплонасосных установок в региональной энергетике Мьянмы: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08/ Аунг Ко. – М., 2019. – 163 с.

19. Низовцев М.И. Тепло- и массоперенос в энергоэффективных ограждающих конструкциях и климатическом оборудовании зданий: дис. ... д-ра техн. наук: 01.04.14/ Низовцев Михаил Иванович. – Новосибирск, 2011. – 319

20. Низовцев, М.И. Экспериментальное исследование влагопереноса в теплоизоляционной панели с вентилируемыми каналами / М.И. Низовцев, В.Ю. Бородулин, В.Н. Летушко, А.Н. Стерлягов // Ползуновский Вестник. – 2017. - №4. с.118-122.

21. Низовцев, М.И. Экспериментальные исследования процессов тепло- и влагообмена в теплоизоляционных панелях / М.И. Низовцев, В.Ю. Бородулин, В.Н. Летушко, А.Н. Стерлягов // Ползуновский Вестник. – 2019. - №2. с.113-118.

22. Новиков, В.А. Энерго- и ресурсосбережение в агропромышленном комплексе. Взгляд архитектора / В.А. Новиков // Энергосбережение. – 2019. – №2.– с.4-6.

23. Брызгалин, В.В. Использование пассивных систем солнечного отопления как элемента пассивного дома / В.В. Брызгалин, А.К. Соловьев // Вестник МГСУ. – 2018. - №4 (115). - С.472-481.

24. Алехин, В.Н. Многослойные панели для эффективных зданий с солнечно-геотермальным энергоснабжением / В.Н. Алехин, Е.П. Шароварова, С.Е. Щеклеин, А. Хуссейн, Н.Е. Новоселова // Академический Вестник УралНИИПроект. – 2021. - №2. – с. 38-44.

25. Дербина С.Н. Эволюция конструктивных решений светопрозрачных фасадах /С.Н. Дербина, П.В. Борискина, А.А. Плотников // Вестник МГСУ. – 2011. - №2-2. – с.26-35.

26. Многослойная фасадная панель: пат.191998 Рос.Федерация: МПК E04F 13/075, E04F 13/077/ Алехин В.Н., Шароварова Е.П., Бударин А.М.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина». – N 2018141862; заявл. 28.11.2018; опубл.29.08.2019, Бюл. N 25.

27. Шароварова, Е.П. Многослойная фасадная панель с воздушным зазором для энергоэффективных зданий с комплексом ВИЭ / Е.П. Шароварова, С.Е. Щеклеин, В.Н. Алехин, И.А. Степанов // СОК. - 2020.- №5. - с. 36 -40.