

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Будівництва, архітектури та дизайну
(повне найменування факультету)

Кафедра Будівельного виробництва та управління проектами
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЄКТУ БУДІВНИЦТВА ОДНОПОВЕРХОВОЇ
ВИРОБНИЧО-РЕМОНТНОЇ БУДІВЛІ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАНТАЖНИХ
АВТОМОБІЛІВ В ЧЕРНІГІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ
DEVELOPMENT OF A CONSTRUCTION PROJECT FOR A ONE-STORY
PRODUCTION AND REPAIR BUILDING FOR SERVICING TRUCKS IN THE
CHERNIHIV REGION

Виконав: студент ІІ курсу, групи БАДз-114м

Спеціальності 192 Будівництво та цивільна
інженерія

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Промислове та цивільне будівництво

НЕСТЕРЕНКО А.Є.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник БОБРАКОВ А.А.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ЖВАН В.Д.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Будівництва, архітектури та дизайну

Кафедра Будівельного виробництва та управління проектами

Ступінь вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Промислове та цивільне будівництво

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри БВУП

к.т.н., доцент Олексій НАЗАРЕНКО

«_____» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

НЕСТЕРЕНКО Антон Євгенович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розроблення проєкту будівництва одноповерхової виробничо-ремонтної будівлі для обслуговування вантажних автомобілів в Чернігівській області.
Development of a construction project for a one-story production and repair building for servicing trucks in the Chernihiv region

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент БОБРАКОВ Анатолій Анатолійович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «_____» квітня 2025 року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 11 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, технічне завдання, інженерно-геологічні умови

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

1. Архітектурно-будівельний розділ. 2. Розрахунково-конструктивний розділ. 3. Організаційно-технологічний розділ. 4. Охорона праці та цивільна безпека. 5. Науково-дослідний розділ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) Слайди презентації, графічний матеріал 9 аркушів А1 роздруковані на А3 з титульним аркушем та зброшуровані

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Архітектурно-будівельний розділ	БОБРАКОВ А.А., доцент		
Розрахунково-конструктивний розділ	БОБРАКОВ А.А., доцент		
Організаційно-технологічний розділ	БОБРАКОВ А.А., доцент		
Охорона праці та цивільна безпека	ЯКІМЦОВ Ю.В., доцент		
Науково-дослідний розділ	БОБРАКОВ А.А., доцент		
Нормоконтролер	БОБРАКОВ А.А., доцент		

7. Дата видачі завдання «01» жовтня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Постановка завдань по роботі	1 тиждень	Завдання
2	Розробка архітектурно-будівельних рішень.	2-3 тижні	Розділ 1
3	Розробка розрахунково-конструктивної частини.	3-5 тижні	Розділ 2
4	Прийняття організаційно-технологічних рішень	5-6 тижні	Розділ 3
5	Розробка технологічної частини роботи	7 тиждень	Розділ 4
6	Розробка заходів з охорони праці та цивільної безпеки.	8 тиждень	Розділ 5
7	Виконання науково-дослідної частини	9-10 тиждень	Розділ 6
8	Оформлення пояснювальної записки та документів до неї	11 тиждень	
9	Оформлення графічної частини	12-13 тиждень	Розділи 1-5
10	Нормоконтроль та рецензування	13-14 тиждень	
11	Перевірка на плагіат	15 тиждень	
12	Захист роботи.	16 тиждень	

Студент

(підпис)

Антон НЕСТЕРЕНКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Анатолій БОБРАКОВ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної кваліфікаційної роботи магістра: 96 с., 10 табл., 15 рис., 38 джерел.

ПРОМИСЛОВА БУДІВЛЯ, ЗАЛІЗОБЕТОННИЙ КАРКАС, КАЛЕНДАРНЕ ПЛАНУВАННЯ БУДІВНИЦТВА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ

Структура та обсяг роботи. Робота є комплексним проектом будівництва одноповерхової виробничої будівлі для технічного обслуговування та поточного ремонту вантажних автомобілів. Розроблено архітектурно-будівельний розділ. Розрахунково-конструкторський розділ містить розрахунок попередньо напруженої ребристої плити покриття. Організаційно-технологічний розділ включає розробку технологічної карти, календарне планування будівництва, вибір крана та проектування будівельного генерального плану. У розділі з охорони праці розглянуто пожежну безпеку, контроль якості монтажу залізобетонних конструкцій і розрахунок штучного освітлення. Науково-дослідницька частина присвячена аналізу структури й особливостей енергоспоживання промислових будівель, дослідженню теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій.

Методи дослідження – базуються на аналізі та узагальненні наукових публікацій і методичних матеріалів у галузі промислового будівництва та енергоефективності.

Об'єкт дослідження – проект будівництва одноповерхової виробничої будівлі підприємства з технічного обслуговування та ремонту вантажних автомобілів.

Предмет дослідження – параметри теплової ізоляції огорожувальних конструкцій, систем вентиляції та організації будівельного виробництва.

Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення ефективності проектування та будівництва промислових об'єктів в умовах зростання вартості енергоресурсів і посилення вимог до енергоефективності, екологічності та безпеки виробничого середовища.

ABSTRACT

Explanatory note to the master's thesis: 96 pages, 10 tables, 15 figures, 38 sources.

INDUSTRIAL BUILDING, REINFORCED-CONCRETE FRAME,
CONSTRUCTION SCHEDULING, ENERGY EFFICIENCY, ENGINEERING SYSTEMS

Structure and Scope of Work. The work is a comprehensive project for the construction of a single-storey industrial building intended for maintenance and routine repair of heavy vehicles. The architectural and construction section has been developed. The structural section includes the calculation of a pre-stressed ribbed roof slab. The organisational and technological section comprises the development of a work execution plan, construction scheduling, selection of the crane, and the design of the construction master plan. The economic section includes a local cost estimate for the construction. The occupational safety section addresses fire safety, quality control of reinforced-concrete assembly operations, and the calculation of artificial lighting. The research section focuses on analysing the structure and characteristics of energy consumption in industrial buildings and studying the thermal performance of building envelope components.

Research Methods. Rely on the analysis and generalisation of scientific publications and methodological materials in the field of industrial construction and energy efficiency.

Object of research: The construction project of a single-storey industrial building for maintenance and repair of heavy vehicles.

Subject of research: thermal insulation parameters of building envelope structures, ventilation systems, and the organisation of the construction process.

Relevance of the topic is determined by the need to improve the efficiency of designing and constructing industrial facilities under conditions of rising energy costs and increasingly stringent requirements for energy efficiency, environmental performance, and workplace safety.

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ.....	9
1.1 Генеральний план та функціональне призначення будівлі.....	9
1.2 Об'ємно-планувальні рішення.....	11
1.3 Конструктивні рішення.....	12
1.4 Інженерне оснащення будівлі.....	17
1.5 Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій.....	18
1.5.1 Теплотехнічний розрахунок покриття.....	18
1.5.2 Теплотехнічний розрахунок стіни.....	20
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ.....	23
2.1 Розрахунок попередньо напруженої ребристої плити перекриття.....	23
2.1.1 Вихідні дані до розрахунку.....	23
2.1.2 Збір навантажень на плиту.....	24
2.1.3 Розрахунок плити по нормальному перерізу.....	26
2.1.4 Розрахунок поперечного ребра плити.....	28
РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	31
3.1 Розробка технологічної карти на монтаж залізобетонного каркасу... 31	
3.1.1 Визначення обсягів будівельних робіт.....	33
3.2 Календарне планування будівництва.....	34
3.3 Вибір методів виконання робіт.....	36
3.3.1 Визначення параметрів крану для виконання робіт.....	39
3.4 Проектування будгенплану.....	43
3.4.1 Визначення площі складів.....	43
3.4.2 Розрахунок потреби у водопостачанні.....	45
3.4.3 Визначення потреби в електропостачанні.....	47
3.4.4 Визначення площі тимчасових приміщень.....	49
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ В БУДІВНИЦТВІ.....	52
4.1 Пожежна безпека на будівельному майданчику.....	52

	7
4.2 Порядок дій у випадку повітряної тривоги.....	54
4.3 Охорона праці при використанні гусеничного крану	56
4.4 Контроль якості при монтажі залізобетонних конструкцій.....	58
4.5 Розрахунок кількості прожекторів	60
РОЗДІЛ 5. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.....	62
5.1 Аналіз структури та особливостей енергоспоживання у промислових будівлях	62
5.2 Дослідження теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій та ефективності систем повітрообміну.....	68
5.3 Розроблення практичних рекомендацій щодо зниження експлуатаційних енерговитрат	75
ВИСНОВКИ	92
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	93

ВСТУП

Проектування та будівництво виробничих будівель є важливою складовою розвитку промислової інфраструктури, оскільки такі споруди забезпечують функціонування транспортних, логістичних та сервісних підприємств.

Актуальність даного проекту зумовлена необхідністю раціональної організації виробничих процесів, підвищення енергоефективності будівель, удосконалення конструктивних рішень та забезпечення безпечних умов праці. Одноповерхова виробнича будівля, що проектується, призначена для виконання повного комплексу робіт із технічного обслуговування і поточного ремонту вантажних автомобілів.

Проект охоплює розроблення генерального плану, архітектурно-планувальних рішень, конструктивної схеми залізобетонного каркаса, теплотехнічні розрахунки огорожувальних конструкцій та комплексне інженерне оснащення будівлі.

У роботі виконано розрахунок попередньо напруженої ребристої плити покриття та опрацьовано організаційно-технологічні заходи будівельного процесу: складання технологічної карти, календарного плану, вибір монтажного крану та проектування будівельного генерального плану. Додатково розглянуто економічні показники реалізації об'єкта та заходи з охорони праці, включаючи пожежну безпеку та контроль якості монтажних робіт.

Науково-дослідницька частина присвячена аналізу енергоспоживання промислових будівель та дослідженню теплотехнічної ефективності огорожувальних конструкцій, що дозволяє обґрунтувати вибір раціональних матеріалів і рішень для зниження експлуатаційних витрат.

Результати роботи комплексно відображають технологічні, конструктивні та організаційні аспекти проектування, забезпечують її безпечність і відповідність сучасним нормативним вимогам.

РОЗДІЛ 1. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ

1.1 Генеральний план та функціональне призначення будівлі

Функціональне призначення підприємства полягає у виконанні робіт із технічного обслуговування та поточного ремонту вантажних автомобілів різних виробників, включаючи як зарубіжні марки (VOLVO, SCANIA, MAN), так і вітчизняні аналоги. Технологічний комплекс передбачає виконання широкого спектра операцій: миття та очищення машин, діагностування та регулювання механізмів, заправку експлуатаційними рідинами, перевірку і кріплення з'єднань, обслуговування шин і систем змащування.

Організація виробничого процесу побудована за принципом прямого руху, що забезпечує зручність транспортування агрегатів і деталей. Основні виробничі ділянки розташовані послідовно відповідно до технологічної послідовності операцій, що дозволяє уникнути зустрічних потоків і скоротити внутрішньоцехові переміщення вантажів. Наймасивніші та найбільш громіздкі елементи конструкцій (зокрема рами й кузови автомобілів) переміщуються по лінії, яка збігається з напрямком руху мостових кранів. У будівлі передбачено два мостові крани з вантажопідйомністю по 10 т кожен, що дає змогу ефективно здійснювати монтажні-демонтажні операції.

Архітектурно-планувальна концепція генерального плану сформована з урахуванням логіки технологічного процесу та особливостей транспортних потоків. Рух автомобілів територією підприємства організовано за кільцевою схемою, що мінімізує перехресні траєкторії та сприяє безпечному пересуванню транспорту. Основний в'їзд здійснюється з боку міської магістралі, яка водночас виконує функцію головної транспортної артерії. При цьому в'їзд розміщений перед виїздом, що відповідає вимогам безпеки руху. На обох пунктах передбачено контрольно-пропускні споруди.

Виробничий корпус орієнтований із урахуванням напрямку панівних вітрів, що забезпечує ефективну природну аерацію приміщень і сприяє

комфортним умовам праці. Оскільки для об'єктів такого типу не обов'язкове природне освітлення, архітектурні рішення приймалися без урахування інсоляційних розрахунків.

Між виробничою будівлею та міською магістраллю розташований адміністративно-побутовий корпус (АБК). Простір між ними використано для створення зеленої зони з насадженням дерев і кущів, а також облаштовано невеликий майданчик для відпочинку персоналу. Покриття цього майданчика виконано з тротуарної плитки, що забезпечує зручність експлуатації та естетичний вигляд. Безпосередньо перед АБК на проїзній частині облаштовано кишеню для короткочасної стоянки службового автотранспорту.

З метою організації зберігання техніки на території підприємства передбачено окремий майданчик для відремонтованих машин. Автомобілі встановлюються у два ряди за тупиковою схемою. Розміри стоянки визначені з урахуванням нормативних параметрів, мінімальної відстані між машинами 0,7 м і необхідного простору для розвороту тягачів, що транспортують техніку до виробничих приміщень.

Поруч із в'їзною зоною розміщено стоянку для особистих автомобілів працівників. У зоні виїзду облаштована паливно-заправна колонка з операторною кабіною, що забезпечує автономність підприємства у паливопостачанні.

Генеральним планом також заплановано будівництво механізованої мийки автотранспорту, складів для зберігання різних видів матеріалів (металу, деревини, запчастин, металовиробів, брухту тощо), а також трансформаторної підстанції для енергозабезпечення виробничих процесів.

Водовідведення поверхневих стоків організовано за допомогою системи лотків, що відводять воду від будівель до зливової каналізації. Виробничі стічні води перед скиданням у міську мережу проходять очистку в спеціально передбаченій споруді, розташованій на відстані 24 м від зовнішньої стіни виробничого корпусу, що значно перевищує мінімально допустиму норму.

Між територією підприємства та житловими зонами міста сформовано санітарно-захисну смугу, укріплену багаторядними насадженнями дерев і кущів, що забезпечують шумозахист, пилопоглинання та покращення мікроклімату довкілля.

1.2 Об'ємно-планувальні рішення

Проектована будівля одноповерхова, оснащена двома мостовими кранами вантажопідйомністю по 10 т. Конструктивна система – каркасна, з повним залізобетонним каркасом.

Схема рамна: поперечні рами утворені колонами, защемленими у фундаментах, на які спираються кроквяні ферми через шарнірні вузли.

У поздовжньому напрямку рами з'єднані між собою підкрановими балками, жорстким диском покриття та сталевими зв'язками, що сприймають гальмівні й вітрові зусилля. Жорсткий диск утворюють збірні залізобетонні плити, приварені до ферм у трьох і більше точках, після чого шви замоноличуються бетоном класу С12/15 на дрібному заповнювачі. Поперечна жорсткість забезпечена системою рам.

Крок колон прийнято 12 м, що відповідає кроку кроквяних ферм, тому підкроквяні елементи не передбачені. При ширині прольоту 24 м по торцях встановлено металеві фахверкові стояки з кроком 6 м для кріплення стінових панелей. Висота прольоту до низу кроквяних ферм – 10,8 м.

Габаритні розміри будівлі становлять 48×72 м. Такі параметри вибрано з урахуванням технологічних вимог: два прольоти по 24 м кожен забезпечують розміщення основних виробничих дільниць, а довжина 72 м узгоджена з послідовністю технологічної лінії прямоточного типу.

Будівля без фонарів, із боковим природним освітленням через стрічкове скління. Основними виробничими зонами є дільниці технічного обслуговування та ремонту автомобілів. У цих зонах облаштовані оглядові ями з нішами для інструментів і світильників, а також трапи для відведення

води під час миття підлоги. Покриття підлоги має ухил $i < 0,01$ у напрямку трапів.

Адміністративно-побутові приміщення запроектовані окремо від виробничого корпусу.

1.3 Конструктивні рішення

Каркас будівлі виконано зі збірного залізобетону та складається з уніфікованих елементів заводського виготовлення, що відповідають вимогам діючих стандартів. Фундаменти запроектовано монолітними, серії 1.412.1, дрібного закладення, із влаштуванням безпосередньо в котловані. Глибина закладення 1,5 м обрана з урахуванням конструктивних особливостей і глибини промерзання ґрунту.

Обріз фундаменту розташовано на позначці $-0,15$. Матеріал конструкцій – бетон класу С16/20 з армуванням гарячекатаною сталлю класу А400 і арматурним дротом класу В500. Для колон передбачено окремі одноступінчасті фундаменти. Товщина плитної частини становить 0,3 м. Подошви фундаментів мають розміри: під крайні колони – $3,3 \times 2,7$ м, під середні – $3,6 \times 3,0$ м. Висота підколонника – 1,2 м.

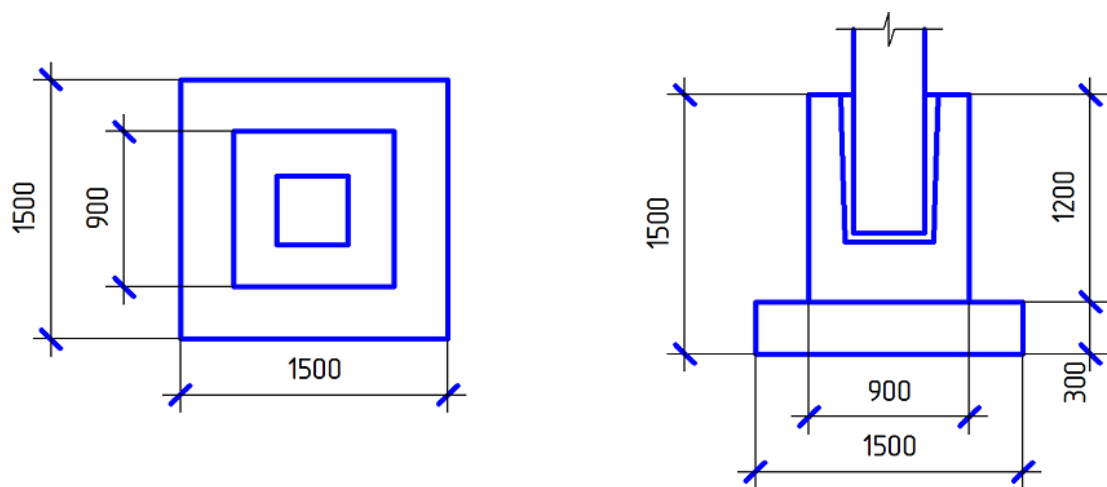


Рисунок 1.1 – Загальна схема фундаменту

З'єднання збірних колон із фундаментами виконується через «склянку», а сталевих елементів – за допомогою анкерних закладних деталей. Під внутрішні стіни товщиною 380 мм і під зовнішні ділянки цегляної кладки передбачено монолітний стрічковий фундамент. Для внутрішніх перегородок товщиною 250 мм застосовується місцева бетонна підливка з бетону класу С12/15.

Фундаментні балки призначені для спирання зовнішніх стінових панелей. Прийнято збірні залізобетонні балки серії 1.415.1-2 марок: 1БФ 12-7, 1БФ 12-13 (довжиною 12 м), а також 1БФ 6-13 і 1БФ 6-12 (довжиною 6 м). Балки встановлюються на бетонні стовпчики, які спираються на плитну частину фундаменту. Всі зазори між кінцями балок, колонами та фундаментами заповнюються бетоном класу С8/10. На верхній поверхні балок улаштовується протикапілярна гідроізоляція з цементно-піщаного розчину складу 1:2.

Колони – одногілкові, суцільного прямокутного перерізу, консольного типу для спирання підкранових балок. Розміри підкранової частини: для крайніх колон – 500×800 мм, для середніх – 600×800 мм; надкранової частини крайніх колон – 500×600 мм. Висота підкранової ділянки становить 7,75 м, надкранової – 4,2 м, загальна висота колони – 10,75 м.

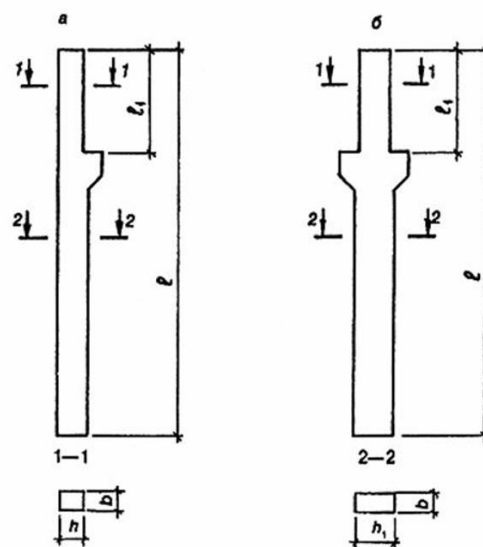


Рисунок 1.2 – Загальна схема кранових колон

Колона заглиблюється у «склянку» фундаменту на 1,0 м через шар цементно-піщаного розчину товщиною 50 мм, що забезпечує точне встановлення та надійну передачу навантажень.

Підкранові балки виконані із залізобетону двотаврового перерізу довжиною 12 м. Кріплення до консолей колон здійснюється через систему анкерних болтів, що проходять крізь опорний сталевий лист, з'єднаний із заставною пластиною в тілі колони. Додатково до шийки колони приварюється вертикальний лист, закріплений до закладних елементів. Після остаточного вирівнювання болтові стики заварюються суцільним швом.

Для захисту від удару мостового крана у разі відмови його гальмівних пристроїв на торцевих ділянках змонтовано сталеві кінцеві упори. Довжина кінцевої ділянки становить 1250 мм. Конструкція упора включає двотавр №45 довжиною 1228 мм, сталеву смугу 300×12 мм та дерев'яний завзятий брус 200×280×360 мм. Кріплення здійснюється болтами М30×420.

Кроквяні ферми прийняті залізобетонні, сегментного типу, розкісні, з прольотом 24 м. Просторова стійкість ферм у процесі експлуатації забезпечується жорстким диском покриття. Монтаж здійснюється з фіксацією ферм на анкерних болтах, після чого опорні листи ферм приварюються до оголовків колон.

Покриття виконане з ребристих плит розміром 3×12 м. Кожна плита приварюється щонайменше у трьох точках до закладних елементів верхнього поясу кроквяних ферм. Для розміщення вентиляційних каналів використовуються спеціальні плити з отворами. Отвори для ринв передбачаються під час монтажу за місцем, не порушуючи конструктивну цілісність ребер жорсткості.

Для підвищення просторової жорсткості будівлі у поздовжньому напрямку встановлені сталеві вертикальні зв'язки порталного типу, розраховані на крок колон 12 м. У межах кожного температурного блоку зв'язки розташовуються посередині будівлі в зоні підкранових частин колон.

Стрижні виготовлені з парних гарячекатаних швелерів, з'єднаних між собою зварними накладками. Кріплення виконується до заставних елементів, закладених у колони.

Підкранові балки виконані із залізобетону двотаврового перерізу, довжиною 12 м. З'єднання з консолями колон здійснюється через анкерні болти, що проходять крізь опорний сталевий лист, приварений до нижньої заставної пластини. До шийки колони балки приєднуються вертикальним листом, звареним із закладними деталями. Після остаточного вирівнювання монтажні стики заварюються. Для захисту будівлі від удару мостового крана в разі відмови гальмівної системи на кінцях прольотів установлені сталеві кінцеві упори довжиною 1250 мм. Конструкція упора складається з двотавра №45 (довжиною 1228 мм), сталеві смуги 300×12 мм і завязаного дерев'яного бруса розміром 200×280×360 мм. З'єднання елементів здійснено болтами М30×420.

Покриття будівлі складається з ребристих плит розміром 3×12 м. Кожна плита приварюється щонайменше у трьох точках до закладних деталей верхнього поясу ферм. Для монтажу вентиляційних шахт застосовуються спеціальні елементи з технологічними отворами. Отвори для ринв пробиваються безпосередньо під час монтажу, без порушення ребер жорсткості плит.

Для забезпечення просторової жорсткості в поздовжньому напрямку передбачені сталеві вертикальні зв'язки порталного типу, розраховані на крок колон 12 м. У межах кожного температурного блоку вони розташовуються посередині будівлі, у зоні підкранових частин колон. Стрижні зв'язків виконані з парних гарячекатаних швелерів, з'єднаних накладками. Кріплення здійснюється до закладних елементів колон.

Горизонтальні зв'язки на рівні кроквяних ферм у будівлі без світлових ліхтарів не передбачаються, оскільки жорсткість конструкцій забезпечується диском покриття та системою вертикальних зв'язків.

Зовнішні стіни запроектовані з навісних тришарових панелей, що складаються з двох шарів важкого бетону та шару утеплювача між ними. Товщина внутрішнього несучого шару становить 150 мм, зовнішнього – 100 мм. Як теплоізоляційний матеріал використовується екструзійний полістирол, який забезпечує низьку теплопровідність і високу вологостійкість. Панелі встановлюються на опорні столики колон, а нижній ряд спирається на фундаментні балки через шар протикапілярної гідроізоляції із цементно-піщаного розчину. Вертикальні та горизонтальні стики ущільнюються синтетичними еластичними прокладками завширшки 60–80 мм із наступним герметизуванням мастикою. Цементно-піщаний заповнювач у швах не застосовується.

Скління виконано у вигляді безперервних стрічок, характерних для фасадних навісних систем. Віконні палітурки – сталеві, із заповненням одинарним або подвійним склом. Кріплення віконних панелей до колон здійснюється за тією ж схемою, що й монтаж стінових панелей, із використанням заставних елементів.

Покрівельна конструкція передбачає рулонне покриття з матеріалу «Техноеласт». Основою служить настил із ребристих залізобетонних плит. Поверхня вирівнюється цементно-піщаним розчином марки М50 товщиною 20 мм, у який укладається блискавкоприймальна сітка зі стрижнів арматури класу А240 діаметром 8 мм із кроком 6×12 м.

Підлоги виконано по ґрунтовій основі. Підготовчий шар – бетон класу С8/10, верхнє покриття – бетон класу С12/15. У виробничих зонах технічного обслуговування й ремонту застосовано безшовне полімерне покриття на епоксидній основі типу «, стійке до механічних і хімічних впливів. Детальна експлікація підлог наведена у графічній частині проекту.

Ворота передбачені двопільні, розстібного типу. Воротні прорізи обрамлені збірними залізобетонними рамами, які узгоджуються з модульною розбивкою панельних стін. В одному з полотен передбачена хвіртка. Полотна

воріт навішуються на сталеві петлі: нижні обладнані сферичними підшипниками для самовстановлення, верхні – для сприйняття горизонтальних зусиль.

Каркас воріт виготовлено зі сталевих швелерів (обв'язка), двотаврів (середники) і смугової сталі (розкоси). Заповнення виконується дерев'яними фільонками та заскленими палітурками. Фільонки складаються з двох шарів вагонки, між якими розміщено антисептовану повсть, загорнуту в пергамін. Висота нижнього ярусу каркаса відповідає висоті хвіртки – 2,08 м.

Для усунення продування по периметру воріт до сталевого каркаса приварені нащільники зі смугової сталі, а щілини між полотнами ущільнені гнучкими фартухами з гуми або брезенту. У проєктованій будівлі передбачено ворота розмірами 4,2×4,0 м і 3,0×3,0 м.

Двері – дерев'яні, глухі: двопільні розмірами 1910×2100 мм і 1510×2100 мм, а також однопільні 910×1510 мм.

1.4 Інженерне оснащення будівлі

У виробничому цеху передбачена автоматична система пожежної сигналізації, що забезпечує своєчасне виявлення займання та передачу сигналу тривоги. Систему автоматичного пожежогасіння не запроектовано, оскільки для одноповерхових будівель площею менше ніж 7000 м² її встановлення не є обов'язковим.

Опалення постів технічного обслуговування та ремонту передбачено повітряного типу, суміщене з припливною вентиляцією, що відповідає рекомендаціям галузевих нормативів.

Система вентиляції прийнята припливно-витяжною з механічним спонуканням. Для забезпечення ефективного повітрообміну обладнано дві вентиляційні камери – окремо для припливу та витяжки. Свіже повітря подається безпосередньо у робочу зону, а відпрацьоване видаляється через систему витяжних каналів. Для дільниць зі специфічними технологічними

процесами (склад витратних матеріалів, медична кімната, акумуляторна, кислотна, електроцех, шиномонтажна ділянка) передбачено окремі витяжні системи. На робочих постах, де відбувається робота двигунів, установлені місцеві відсмоктувачі для видалення вихлопних газів.

Відведення атмосферних опадів організовано за допомогою внутрішнього водостоку. Вода з покрівлі збирається водоприймальними воронками та відводиться у систему зливової каналізації.

Виробничі стічні води перед скиданням у міську каналізаційну мережу проходять очищення на локальній очисній установці, розташованій у межах території підприємства.

Водопостачання здійснюється від загальноміської мережі, що забезпечує потреби як виробничих, так і побутових приміщень.

1.5 Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій

1.5.1 Теплотехнічний розрахунок покриття

Теплотехнічний розрахунок виконано згідно ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель та перевірки відповідності конструкції нормованим показникам опору теплопередачі.

Кліматичні параметри для району будівництва прийнято згідно з нормативними даними: середня температура зовнішнього повітря протягом опалювального періоду – $t_{ht} = -0,9 \text{ }^\circ\text{C}$, температура найхолоднішої п'ятиденки – $t_{хол} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Зона вологості – нормальна за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, умови експлуатації огорожувальних конструкцій – категорія «Б».

Вологісний режим приміщення – нормальний. Мінімальна оптимальна температура внутрішнього повітря прийнята $t_{int} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$.

Визначається нормоване значення опору теплопередачі покриття згідно з ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.

Для Покриття та перекриття неопалюваних горищ будівель промислових будівель значення складає (1.1):

$$R_{qmin} = 1,70 \frac{\text{м}^2 \times \text{С}}{\text{Вт}} \quad (1.1)$$

Для забезпечення оптимального рівню теплопередачі огорожувальної конструкції необхідно, щоб виконувалась умова (1.2):

$$R_{q,min} < R_{q,пр} \frac{\text{м}^2 \times \text{С}}{\text{Вт}} \quad (1.2)$$

Тобто приведений (фактичний) опір теплопередачі має бути менше мінімального $R_{q \min}$.

Для визначення фактичного опору теплопередачі огорожувальної конструкції $R_{q,пр}$ враховують тип огорожувальної конструкції та кліматичну зону. Характеристика покриття наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристика покриття, що розглядається

Поз	Найменування конструктивних елементів	δ , м	γ , кг/м ³	λ , Вт/мК
1	Залізобетонна ребриста плита	0,03	2500	2,04
2	Цементно-піщана стяжка	0,02	1000	0,93
3	Утеплювач: екструзійний полістирол	X	500	0,03
4	Цементно-піщана стяжка	0,02	1800	0,93
5	Техноеласт 2 шари	0,008	600	0,17

Оскільки необхідна товщина утеплювача невідома, для її визначення необхідно скористатись оберненою формулою (1.3):

$$\delta_{yt} = \left[R_0^{tp} - \left(\frac{1}{h_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{h_{ext}} \right) \right] \cdot \lambda_{yt}, \text{ м} \quad (1.3)$$

де h_{int} – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні, Вт/(м²·°С);

h_{ext} – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні, Вт/(м²·°С);

δ_i – товщина і-го шару конструкції, м;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу і-го шару, Вт/(м·°С).

Після підстановки відомих значень параметрів формула набуває вигляду:

$$R_{q \min} = \frac{1}{23,0} + \frac{0,03}{2,04} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{X}{0,03} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,008}{0,17} + \frac{1}{8,7}$$

Таким чином, визначаємо невідомі товщину утеплювача X , підставивши значення в формулу (1.3):

$$X = \left(2,75 - \frac{1}{23,0} - \frac{0,03}{2,04} - \frac{0,02}{0,93} - \frac{0,02}{0,93} - \frac{0,008}{0,17} - \frac{1}{8,7} \right) \cdot 0,03 = 0,075 \text{ м}$$

За результатами розрахунку приймається найближче стандартне значення товщини теплоізоляційного шару з урахуванням номенклатури матеріалу. Обрано екструзійний полістирол типу «Піноплекс» товщиною 80 мм.

1.5.2 Теплотехнічний розрахунок стіни

Нормований опір теплопередачі стіни:

$$R_{qmin} = 1,70 \frac{\text{м}^2 \times \text{С}}{\text{Вт}} \quad (1.1)$$

Ескіз стінового огороження наведено на рис. 1.3.

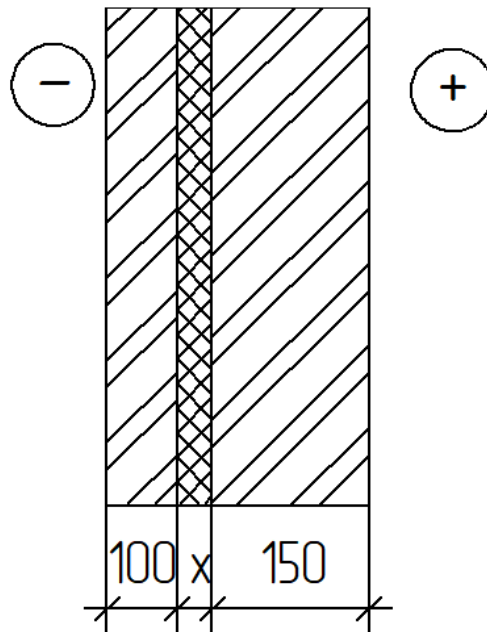


Рисунок 1.3 – Ескіз стінового огороження

Конструкція огорожувальної стіни наведена в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Конструкція стіни

Поз	Найменування конструктивних елементів	δ , м	γ , кг/м ³	λ , Вт/мК
1	Тяжкий бетон	0,10	2500	2,04
2	Утеплювач: екструзійний полістирол	X	35	0,03
3	Тяжкий бетон	0,15	2500	2,04

Знаходимо розрахунковий (фактичний) опір теплопередачі за формулою:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ht}}$$

Підставляємо значення:

$$R_0 = \frac{1}{23,0} + \frac{0,1}{2,04} + \frac{X}{0,03} + \frac{0,15}{2,04} + \frac{1}{8,7}$$

Виходячи з умови $R_{q \text{ пр}} > R_{q \text{ min}}$, визначаємо невідому товщину утеплювача для стінової конструкції:

$$X = \left(2,0 - \frac{1}{23,0} - \frac{0,1}{2,04} - \frac{0,15}{2,04} - \frac{1}{8,7} \right) \cdot 0,03 = 0,05 \text{ м}$$

Приймаємо стандартну товщину утеплювача XPS 50 мм.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

2.1 Розрахунок попередньо напруженої ребристої плити перекриття

2.1.1 Вихідні дані до розрахунку

Розраховується ребриста панель покриття розміром 3×12 м, виготовлена з важкого бетону класу C25/30.

Фізико-механічні характеристики бетону:

Розрахункова міцність бетону на стиск: $f_{cd} = 1,7$ кН/см²

Розрахункова міцність бетону на осьовий розтяг: $f_{ctd} = 0,12$ кН/см²

Характеристична міцність бетону на стиск: $f_{ck} = 2,2$ кН/см²

Характеристична міцність бетону на розтяг: $f_{ctk} = 0,18$ кН/см²

Модуль пружності бетону: $E_c = 2,9 \cdot 10^3$ кН/см²

Панель виготовляється зі застосуванням теплової обробки при атмосферному тиску, що враховується при визначенні розрахункових параметрів міцності та деформативності.

Поздовжнє армування

Для армування ребер панелі застосовується попередньо напружена арматура класу A800, що натягується механічним способом на упори.

Розрахункова міцність арматури: $f_{yd} = 68$ кН/см²

Характеристична міцність арматури: $f_{yk} = 80$ кН/см²

Модуль пружності арматури: $E_s = 1,9 \cdot 10^5$ кН/см²

Поперечне армування

Для забезпечення міцності похилих перерізів у ребрах передбачено арматурні каркаси з арматури класу A400:

Розрахункова міцність поздовжньої арматури: $f_{yd} = 37,5$ кН/см²

Характеристична міцність арматури: $f_{yk} = 37,5$ кН/см²

Розрахункова міцність поперечної арматури: $f_{ywd} = 17,5$ кН/см²

Модуль пружності поперечної арматури: $E_{sw} = 2,0 \cdot 10^4$ кН/см²

Армування полички

Полицю панелі армують зварними сітками з холоднотягнутого дроту класу В500,

Розрахункова міцність дроту: $f_{yd} = 42 \text{ кН/см}^2$.

2.1.2 Збір навантажень на плиту

Розрахунок виконано для ребристої залізобетонної панелі покриття розміром $3 \times 12 \text{ м}$, що спирається по двох сторонах. Навантаження визначено відповідно до вимог ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи (із змінами) та ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції.

До постійних навантажень відносять власну вагу панелі, вагу покрівельного покриття, утеплювача, гідроізоляційного шару та стяжки.

Розрахункове постійне навантаження на 1 м^2 панелі (2.1):

$$q'_{\text{пост}} = (q_{\text{пост}} + q_{\text{с.в.пл.}}) \cdot A_{\text{гр}} \cdot \gamma_n, \text{кН} \quad (2.1)$$

$$q'_{\text{пост}} = (1,0 + 1,3) \cdot 3 \cdot 1 \cdot 0,95 = 6,6 \text{ кН/м}$$

Розрахункове постійне навантаження (2.2):

$$q'_{f\text{пост}} = (q_{f\text{пост}} + q_{f\text{с.в.пл.}}) \cdot A_{\text{гр}} \cdot \gamma_n, \frac{\text{кН}}{\text{м}} \quad (2.2)$$

$$q'_{f\text{пост}} = (0,8 + 1,17) \cdot 3 \cdot 1 \cdot 0,95 = 5,6 \text{ кН/м}$$

2. Тимчасові навантаження

Розрахункова вага снігового покриву на 1 м^2 горизонтальної поверхні землі: $p_{\text{сн}} = 3,2 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$

Глибину спирання панелі приймаємо $b_{\text{оп}} = 100 \text{ мм}$.

Тоді розрахункова довжина панелі (2.3):

$$l_p = l_k - b_{\text{оп.}} = 12960 - 100 = 12860 \text{ мм} \quad (2.3)$$

Навантаження на 1 погонний метр панелі

Нормативне постійне навантаження:

Розрахункове постійне навантаження:

$$q'_{\text{пост}} = (q_{\text{пост}} + q_{\text{с.в.пл.}}) \cdot A_{\text{гр}} \cdot \gamma_n, \frac{\text{кН}}{\text{м}} \quad (2.4)$$

$$q'_{\text{пост}} = (1,0 + 1,3) \cdot 3 \cdot 1 \cdot 0,95 = 6,6 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

де $A_{\text{гр}}$ – розрахункова ширина захвату панелі (зазвичай 3 м);

γ_n – коефіцієнт надійності за призначенням.

Максимальний згинальний момент від повного розрахункового навантаження (2.5):

$$M = \frac{q'_{\text{повн}} \cdot l_p^2}{8} = \frac{15,7 \cdot 11,86^2}{8} = 276,0 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (2.5)$$

Визначення поперечних сил

Максимальна розрахункова поперечна сила (2.6):

$$Q = \frac{q'_{\text{полн}} \cdot l_p}{2} = \frac{15,7 \cdot 11,86}{2} = 93,1 \text{ кН} \quad (2.6)$$

Після визначення внутрішніх зусиль переходимо до розрахунку плити перекриття та конструювання плити.

2.1.3 Розрахунок плити по нормальному перерізу

Метою даного розрахунку є перевірка несучої здатності елемента полиці за дією згинального моменту у середині прольоту. Для цього визначається площа розтягнутої арматури, необхідна для сприйняття розрахункових зусиль.

Ширина розрахункового перерізу прийнята $b = 100$ см, а приведена висота перерізу — $h'_f = 3,0$ см.

Робоча (ефективна) висота визначається з урахуванням захисного шару бетону (2.7):

$$\begin{aligned} h_0 &= h'_f - a, \text{ см} \\ h_0 &= 3,0 - 1,5 = 1,5 \text{ см} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Розрахункова площа арматури визначається через безрозмірний параметр α_0 , який характеризує співвідношення між моментом і несучою здатністю бетонного перерізу (2.8):

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= \frac{M_2}{f_{cd} \cdot b \cdot h_0^2} \\ \alpha_0 &= \frac{96}{17 \cdot 0,9 \cdot 100 \cdot 1,5^2} = 0,03 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Для визначення граничної відносної висоти стиснутої зони бетону ξ_R використовуємо вираз, що враховує фізичні властивості матеріалу і клас арматури (2.9):

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{SR}}{50} \cdot \left(1,0 - \frac{\omega}{1,1}\right)} \quad (2.9)$$

Характеристика стиснутої зони бетону при коефіцієнті $\alpha = 0.85$ обчислюється за формулою (2.10):

$$\begin{aligned}\omega &= \alpha - 0,08 \cdot f_{cd} \\ \omega &= 0,85 - 0,08 \cdot 1,7 = 0,73\end{aligned}\quad (2.10)$$

Після підстановки даних отримаємо:

$$\xi_R = \frac{0,73}{1 + \frac{36,5}{50} \cdot \left(1,0 - \frac{0,73}{1,1}\right)} = 0,58$$

Відносна висота стиснутої зони бетону, що визначається з основного рівняння рівноваги (2.11):

$$\begin{aligned}\xi &= 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \alpha} \\ \xi &= 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,03} = 0,03 \text{ см} < \xi_R = 0,58 \text{ см}\end{aligned}\quad (2.11)$$

Таким чином, умова міцності перерізу виконується.

Площа робочої арматури обчислюється за формулою (2.12):

$$\begin{aligned}A_s &= \xi \cdot b \cdot h_0 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \\ A_s &= 0,03 \cdot 100 \cdot 1,5 \cdot \frac{1,7}{36} = 0,19 \text{ см}^2\end{aligned}\quad (2.12)$$

Для забезпечення конструктивної надійності приймається зварна сітка з арматури класу В500 із кроком стрижнів $S = 250$ мм. При цьому в одному метрі розташовується чотири стрижні, що дає сумарну площу арматури $A_s = 0.5 \text{ см}^2$, що перевищує необхідне розрахункове значення.

Перевірка міцності за похилими перерізами не виконується, оскільки при прийнятих параметрах перерізу умова міцності за дією поперечних сил задовольняється автоматично. Таким чином, полиця плити відповідає вимогам міцності за нормальним перерізом у середині прольоту.

2.1.4 Розрахунок поперечного ребра плити

Поперечні ребра працюють як балки таврового перерізу, защемлені в поздовжніх ребрах. Для рівномоментної схеми з урахуванням пластичних деформацій згинальні моменти в прольоті та на опорі приймають однаковими:

$$M_{\text{оп}} = M_{\text{пр}} = \frac{q \cdot l_1^2}{16}, \text{кН} \times \text{м} \quad (2.13)$$

Ширина полиці для поперечного ребра задається (2.14):

$$b_{\text{полки}} = \frac{2 \cdot l_1}{6}, \text{м} \quad (2.14)$$

Середня товщина ребра: $b_2 = 9 \text{ см}$.

Розрахунковий (приведений) розмір полиці (2.15):

$$b'_f = b_2 + \frac{2 \cdot l_1}{6}, \text{см}$$

$$b'_f = 9,0 + \frac{2 \cdot 284}{6} = 103,0 \text{ см} \quad (2.15)$$

Інтенсивність від площинних навантажень, що передається на ребро:

$$q_1 = q_{\text{пост}} \cdot (l_2 - b_2), \frac{\text{кН}}{\text{м}} \quad (2.16)$$

$$q_1 = 7,7 \cdot (1,48 + 0,09) = 12,0 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

Розрахуємо навантаження від власної ваги ребра (2.17):

$$q_{\text{с.в.р.}} = b_2 \cdot (h - h'_f) \cdot \gamma \cdot \gamma_f, \frac{\text{кН}}{\text{м}} \quad (2.17)$$

$$q_{\text{с.в.р.}} = 0,09 \cdot (0,15 - 0,03) \cdot 25 \cdot 1,1 = 0,16 \text{ кН/м}$$

Повне розрахункове навантаження визначається за формулою (2.18):

$$q_p = q_1 + q_{\text{с.в.р.}}, \frac{\text{кН}}{\text{м}} \quad (2.18)$$

$$q_p = 12,0 + 0,16 = 12,16 \approx 12,2 \text{ кН/м}$$

Згинальні моменти визначаються за формулою (2.19):

$$M = M_{\text{оп}} = M_{\text{пр}} = \frac{q_p \cdot l_1^2}{16} \text{кН} \cdot \text{м} \quad (2.19)$$

$$M = \frac{12,2 \cdot 2,71^2}{16} = 5,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Припустимо, що ми розраховуємо по першому випадку роботи перерізу за формулою, коли нейтральна лінія проходить у полиці (2.20):

$$\alpha_0 = \frac{M}{f_{cd} \cdot b'_f \cdot h_0^2} \quad (2.20)$$

$$\alpha_0 = \frac{560}{1,7 \cdot 0,9 \cdot 103 \cdot 13^2} = 0,012$$

Відносна висота стиснутої зони (2.21):

$$\alpha_0 = \frac{M}{f_{cd} \cdot b'_f \cdot h_0^2} \quad (2.21)$$

$$\alpha_0 = \frac{560}{1,7 \cdot 103 \cdot 13^2} = 0,012$$

Абсолютна висота стиснутої зони (2.22):

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha}$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,02} = 0,012 \text{ см} < \xi_R = 0,58 \text{ см} \quad (2.22)$$

Визначаємо висоту стиснутої зони (2.23):

$$x = \xi \cdot h_0 = 0,012 \cdot 13 = 0,024 \text{ см} < h'_f = 3,0 \text{ см} \quad (2.23)$$

Таким чином, припущення щодо першого випадку роботи (2.20) вірне, тому визначаємо площу розтягнутої арматури за формулою (2.24):

$$A_s = \xi \cdot b_f \cdot h_0 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}, \text{ см}^2 \quad (2.24)$$

$$A_s = 0,012 \cdot 103,0 \cdot 13,0 \cdot \frac{1,7}{37,5} = 0,66 \text{ см}^2$$

Прийняте армування

Поздовжня робоча арматура каркаса: Ø10 А400, $A_s = 0.785 \text{ см}^2$ (каркас Кр-1), що перевищує розрахункову потребу.

Поперечне армування: Ø5 В500.

Крок поперечних стрижнів із конструктивних міркувань:

на кінцевих ділянках довжиною $0.25l$ — $S1 = 200 \text{ мм}$;

середній зоні — $S2 = 0.75h = 0.75 \cdot 150 = 112.5 \text{ мм}$, прийнято $S2 = 100$

мм.

РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка технологічної карти на монтаж залізобетонного каркасу

Під час будівництва об'єкта застосовується поточний метод організації виконання робіт, який передбачає послідовне виконання технологічних процесів у встановленому ритмі. Кожна бригада постійного складу виконує певний цикл робіт із використанням необхідного комплексу машин, механізмів і пристроїв. Такий підхід дозволяє забезпечити безперервність виробництва, ритмічність будівельного процесу та ефективне використання трудових і технічних ресурсів.

Для монтажу конструкцій прийнято комплексний метод, що ґрунтується на об'ємно-планувальних і конструктивних особливостях будівлі.

Метод передбачає послідовне виконання монтажу однотипних і різнотипних елементів у межах окремої секції або ділянки, що забезпечує узгодженість технологічних процесів та скорочує загальну тривалість будівництва. Згідно з календарним планом, нормативна тривалість будівництва становить шість місяців.

Бригади формуються залежно від характеру виконуваних робіт. Комплексні бригади створюються для виконання укрупнених етапів — наприклад, монтажу каркаса або бетонування секції. Спеціалізовані бригади працюють на вузьких напрямках — арматурні, опалубні, електромонтажні тощо. Така організація праці забезпечує високу продуктивність і якість виконання робіт.

Охорона праці та безпека робіт забезпечуються системою організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів. Усі працівники забезпечуються індивідуальними засобами захисту — спецодягом, взуттям, касками та запобіжними пристроями. На будівельному майданчику встановлюються огорожі небезпечних зон, освітлення, вентиляційні системи, сигнальні знаки. Передбачено побутові приміщення для персоналу, пункти

харчування й місця відпочинку. Усі будівельно-монтажні процеси виконуються відповідно до вимог чинних нормативів з техніки безпеки у будівництві.

Управління якістю будівельно-монтажних робіт здійснюється будівельною організацією на всіх етапах виробництва. Контроль якості виконується комплексно — від перевірки проектної документації до оцінки готових конструкцій. Для цього використовуються три рівні контролю:

- вхідний контроль, який охоплює перевірку комплектності робочої документації, відповідності матеріалів, виробів і обладнання паспортним даним, сертифікатам і стандартам;
- операційний контроль, що здійснюється безпосередньо під час виконання робіт і спрямований на своєчасне виявлення та усунення дефектів;
- приймальний контроль, який підтверджує відповідність закінчених елементів проектним вимогам. Для прихованих робіт обов'язково складаються акти огляду перед продовженням наступних процесів.

Крім виробничого, періодично проводиться інспекційний контроль, який здійснюється вибірково представниками технічного нагляду, проектною організації або державних органів. За результатами перевірок розробляються заходи з усунення виявлених недоліків, посилюється технологічна дисципліна й удосконалюється система внутрішнього контролю якості.

Впровадження поточного методу організації робіт у поєднанні з комплексною системою охорони праці та багаторівневим контролем якості забезпечує безпечне, ритмічне й технічно обґрунтоване виконання всіх будівельно-монтажних процесів, що гарантує надійність і довговічність споруди.

. Виробничі бригади діяли за узгодженими графіками, що дозволило уникнути простоїв техніки й нерівномірного завантаження персоналу. Монтаж конструкцій, бетонування та армування виконувалися паралельно на різних поверххах, що забезпечило стабільний темп зведення каркаса. Контрольні

перевірки показали високу якість виконання робіт, відсутність значних відхилень від проєктних параметрів і належний стан охорони праці.

3.1.1 Визначення обсягів будівельних робіт

У процесі організації будівництва була визначена необхідна кількість будівельно-монтажних робіт, що забезпечують зведення надземної частини будівлі. На основі проєктних даних і календарного плану виконано узагальнений розрахунок трудових і технологічних обсягів, який охоплює основні етапи спорудження монолітного каркаса.

У таблиці 3.1 наведено укрупнений перелік основних робіт, до якого включено бетонування перекриттів, улаштування колон, діафрагм жорсткості, стін, ліфтової шахти та інших елементів несучої системи. Табл. 3.1 відображає структурну послідовність виконання процесів, трудомісткість і обсяги робіт, що стали основою для формування календарного графіка і подальшого планування ресурсів.

Таблиця 3.1 – Визначення обсягів будівельно-монтажних робіт

№ п/п	Найменування будівельно-монтажних робіт	Об'єм будівельно-монтажних робіт	
		Од. вимір.	Кількість
1	2	3	4
1	Встановлення колон до 20 т	шт.	21,00
2	Закладення стиків колон з фундаментом	1 стик	21,00
3	Монтаж вертикальних зв'язків	шт.	3,00
4	Монтаж стійок фахверка	шт.	12,00
7	Встановлення підкранових балок	шт.	24,00
8	Встановлення ферм	шт.	14,00

Продовження таблиці 3.1.

9	Укладання плит покриття розміром 3×12 м	шт.	96,00
10	Заливка швів плит покриття	10 м шва	130,00
11	Встановлення зовнішніх стінових панелей площею до 10 м ²	шт.	59,00
12	Встановлення зовнішніх стінових панелей площею до 15 м ²	шт.	81,00

3.2 Календарне планування будівництва

Найважливішим документом у складі проєкту виконання робіт є календарний план, який складається з двох частин – розрахункової та графічної.

Графічна частина відображає технологічну послідовність і взаємозв'язок усіх видів робіт, а також визначає тривалість окремих будівельних процесів і загальний строк будівництва.

Вихідними даними для складання календарного плану є креслення архітектурно-планувальної та конструктивної частин проєкту.

Номенклатура робіт об'єднана у цикли, що охоплюють:

- підготовчий період;
- земляні роботи;
- монтажні роботи;
- благоустрій території.

Скорочення тривалості будівництва досягається поєднанням у часі окремих процесів, що допускають паралельне виконання.

Загальний термін будівництва об'єкта становить 148 діб.

Рівномірність та безперервність залучення робітників визначаються загальним графіком руху робочих кадрів за професіями.

Коефіцієнт рівномірності руху робітників: нормативний – 1,5...2,0; прийнятий – 2,0.

На підставі календарного плану встановлено строки виконання окремих видів робіт, побудовано графіки:

- роботи будівельних машин;
- постачання основних будівельних конструкцій, виробів і матеріалів.

Постачання матеріалів здійснюється з урахуванням п'ятиденного запасу.

Техніко-економічні показники до ПВР наведено на аркуші календарного плану.

Комплекс робіт поділено на комплексні процеси, що виконуються у такій послідовності:

- земляні роботи;
- улаштування фундаментів;
- монтаж каркасу;
- зведення зовнішніх стінових панелей;
- кладка внутрішніх стін і заповнення прорізів;
- улаштування покрівлі;
- настил підлог;
- оздоблювальні роботи;
- завершальні та інші допоміжні процеси.

Виконання робіт передбачається у дві зміни, тривалість кожної зміни становить 8 годин.

Загальний обсяг БМР наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Визначення загального обсягу БМР

№ п/п	Найменування будівельно-монтажних робіт	Об'єм будівельно-монтажних робіт	
		Од. вимір.	Кількість
1	2	3	4

1	Встановлення колон до 20 т	шт.	21,00
2	Закладення стиків колон з фундаментом	1 стик	21,00
3	Монтаж вертикальних зв'язків	шт.	3,00
4	Монтаж стійок фахверка	шт.	12,00
1	Встановлення підкранових балок	шт.	24,00
5	Встановлення ферм	шт.	14,00
6	Укладання плит покриття розміром 3×12 м	шт.	96,00
7	Заливка швів плит покриття	10 м шва	130,00
8	Встановлення зовнішніх стінових панелей площею до 10 м ²	шт.	59,00
9	Встановлення зовнішніх стінових панелей площею до 15 м ³	шт.	81,00

3.3 Вибір методів виконання робіт

Під час вибору методів виконання робіт передбачено максимальне використання комплексної механізації всіх основних процесів. Земляні роботи виконуються із застосуванням бульдозера Caterpillar D6R, екскаватора JCB 220 та автосамоскидів MAN TGS. Монтажні процеси здійснюються за допомогою гусеничного крана Liebherr LR 1200, який забезпечує необхідну точність установа конструкцій та безпеку робіт.

Для виконання покрівельних робіт використовуються механізми Vögele Super 1300 для подачі й розподілення мастик, автогудронатор Bitelli BV630, а також віброрейки Wacker Neuson P35A для ущільнення покриттів. Доставка будівельних матеріалів і конструкцій на майданчик здійснюється автомобілями IVECO Trakker.

Зварювальні, бетонні та допоміжні процеси виконуються механізовано із застосуванням пересувних агрегатів Atlas Copco. Прийняті методи забезпечують високий рівень комплексної механізації, підвищену продуктивність праці, якість виконання робіт, безпечні умови праці та безперервність будівельного процесу. Монтаж конструкцій здійснюється відповідно до чинних нормативних вимог.

До початку монтажу завершуються підготовчі операції: зведення та перевірка фундаментів, зворотне засипання ґрунту, улаштування монтажних майданчиків, складів і під'їзних шляхів. Земляні роботи передбачають зняття рослинного шару, планування майданчика, розроблення котлованів і траншей, транспортування та складування ґрунту.

Основні операції виконуються механізовано, дно котловану зачищається після завершення розроблення, а зворотне засипання проводиться пошарово з ущільненням котками Bomag BW 120 AD. Монтаж фундаментів здійснюється на основі точної розбивки осей. Встановлення збірних залізобетонних елементів проводиться за допомогою автокрана Liebherr LTM 1090, з подальшим вивірянням положення й замонолічуванням стиків.

Після завершення монтажу виконується зворотне засипання до рівня верху фундаменту. Монтаж каркаса будівлі проводиться у послідовності: колони – балки – ферми – плити покриття.

Просторова стійкість конструкцій забезпечується тимчасовими розпірками й розчалками, а правильність положення контролюється геодезичними приладами Leica. Після досягнення необхідної міцності стиків монтаж продовжується у поточному режимі. Монтаж стінових панелей

виконується механізовано із забезпеченням геометричної точності встановлення та надійного закріплення.

Після завершення монтажу проводяться оздоблювальні та покрівельні роботи з використанням механізованих засобів подачі матеріалів і нанесення покриттів. Прийняті технологічні рішення забезпечують раціональну організацію будівельного виробництва, поточність і безперервність робіт, скорочення термінів зведення об'єкта, високу якість і безпеку будівельних процесів.

Бетонні покриття влаштовують по підстильному бетонному шару з вирівняною поверхнею, яку зазвичай не загладжують для покращення зчеплення між шарами. Бетонну суміш транспортують на об'єкт автобетонозмішувачами. Укладання бетонного покриття здійснюють смугами завширшки близько 2 м.

Спочатку бетонують смуги через одну, після чого заповнюють проміжки між ними. По межах смуг встановлюють маяки-рейки, що забезпечують необхідну товщину шару та рівність поверхні. Ущільнення бетонної суміші виконується віброрейками. Для запобігання появі усадкових тріщин покриття розділяють на окремі карти розміром орієнтовно 6×9 м.

У процесі твердіння на поверхні бетону утворюється цементна або вапняна плівка з низькими фізико-механічними властивостями, пористою структурою та недостатньою адгезією. Для підвищення якості покриття після твердіння верхній слабкий шар видаляють механічним способом, оголюючи щільну структуру бетону.

До початку робіт поверхню покриття розбивають на окремі захватки. Роботи з улаштування покрівлі виконують послідовно, з дотриманням технологічної послідовності та температурних режимів.

Після завершення монтажу несучих плит проводять замонолічування стиків, вирівнювання та ґрунтування поверхні під наклеювання пароізоляції. Далі укладають теплоізоляційний шар на мастиці, влаштовують і ґрунтують

вирівнювальні стяжки під гідроізоляційний килим, наклеюють основні та додаткові шари гідроізоляції, після чого наносять захисне покриття.

Подача бітумних мастик на покрівлю здійснюється сталевими трубопроводами. Для транспортування матеріалів на дах використовують будівельні підйомники. Плитні утеплювачі доставляють у контейнерах або візках-причепках з подальшим переміщенням по даху електрокарами.

У вузлах примикання покрівлі до стін передбачено облаштування карнизів зі звисом плит, що забезпечує відведення атмосферних опадів та довговічність покриття.

Контроль якості бетонних і залізобетонних робіт включає перевірку якості арматури, заповнювачів і в'язучих матеріалів, умов їх зберігання, роботи бетонозмішувальних установок і дозуючих пристроїв, а також правильності приготування та транспортування бетонної суміші.

Перед початком бетонування перевіряється готовність основи, опалубки, арматурних каркасів, заставних деталей і монтажних пристроїв.

Після виконання робіт здійснюють огляд якості конструкцій, замірювання фактичних параметрів, відбір зразків і лабораторні випробування у разі потреби. Контроль охоплює перевірку фактичної міцності, морозостійкості та водонепроникності бетону відповідно до вимог проекту. У разі виявлення відхилень або дефектів розробляються заходи щодо їх усунення. Результати контролю фіксуються в установленій виконавчо-технічній документації.

3.3.1 Визначення параметрів крана для виконання робіт

Вибір монтажного крана здійснюється з урахуванням геометричних розмірів будівлі, маси та габаритів конструкцій, що монтуються, особливостей монтажного майданчика, а також технічних і експлуатаційних характеристик кранів. Для правильного підбору визначають необхідну вантажопідйомність, висоту стріли, мінімальний виліт та мінімальну довжину стріли.

Необхідна вантажопідйомність крана визначається за формулою (3.1):

$$Q_K = q_{ел} + q_{Т.П}, \text{ Т} \quad (3.1)$$

$$Q_K = 3,09 + 0,5 = 3,14 \text{ Т}$$

де q_e – маса елемента, т;

$q_{тп}$ – маса такелажних пристроїв, т.

Для монтажу конструкцій даної будівлі прийнято $Q_k = 3,14$ т.

Висота головки стріли обчислюється за формулою (3.2):

$$H_C = h_M + h_0 + h_e + h_c + h_{п}, \text{ м} \quad (3.2)$$

де h_m – висота монтажного горизонту від рівня стоянки крана;

h_0 – висота підйому елемента над опорою (1,0 м);

h_e – товщина елемента;

h_c – висота стропування;

h_p – висота поліспасти (2,0 м).

Мінімальний виліт стріли визначається (3.3):

$$H_C = h_M + h_0 + h_e + h_c + h_{п}, \text{ м} \quad (3.3)$$

де b – мінімальна відстань між стрілою крана та елементом (1,0 м);

b_1 – виступаюча частина конструкції у бік крана;

b_2 – половина товщини стріли (0,5 м);

h_{sh} – висота шарніра п'яти стріли над рівнем стоянки (1,5 м);

b_3 – відстань від осі обертання крана до шарніра п'яти (1,5 м).

Мінімальна довжина стріли визначається за формулою (3.4):

$$L = \sqrt{(L_c - b_3)^2 + (H_c - h_{ш})^2} \quad (3.4)$$

Схема визначення параметрів крану, необхідного для зведення даної будівлі, наведена на рис. 3.1.

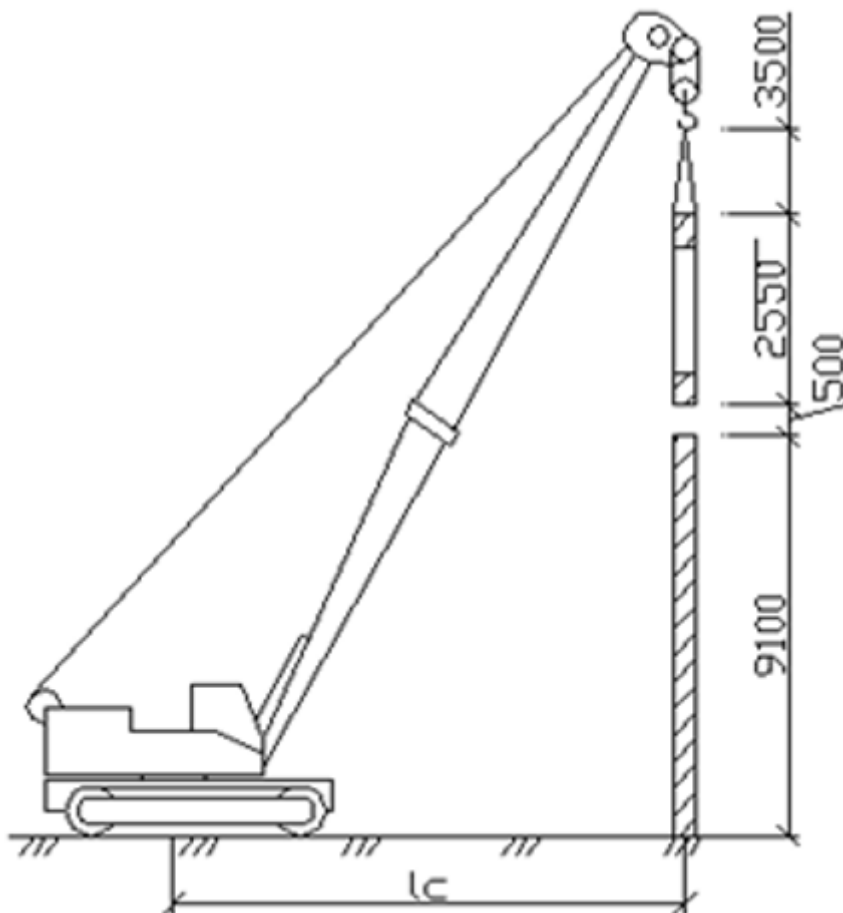


Рисунок 3.1 – Визначення параметрів крану, необхідного для монтажу каркаса будівлі

Проведемо розрахунок монтажних характеристик, що зведемо в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристика монтажних елементів

Найменування елемента, що монтується	Позначка, на яку	Монтажні характеристики елементів			
		Q_k	H_c	l_c	L

	встановлює вся елемент				
Колона	-	14,03	18,25	8,10	13,50
Підкранова балка	6,65	6,34	14,05	5,08	11,05
Стінова панель	14,40	4,65	20,66	9,20	20,85
Ферма	10,80	12,35	20,50	3,20	19,08
Плита покриття	14,10	4,58	20,60	6,89	19,24

Розрахунки показали, що для умов даного об'єкта оптимальним є стріловий кран СКГ-63, який при довжині стріли 30 м і вильоті 24 м забезпечує можливість монтажу всіх елементів каркаса будівлі. Технічні параметри крана повністю відповідають геометричним та масовим характеристикам монтажних елементів, а також умовам монтажного майданчика.

Його використання дозволяє виконати монтаж у встановлені строки з мінімальними витратами, дотриманням вимог безпеки й високою точністю встановлення елементів.

З метою забезпечення безпеки під час робіт визначаються відповідні зони: монтажна, робоча та небезпечна. Робоча зона крана – це простір у межах траєкторії руху вантажного гака. Небезпечна зона, у межах якої можливе падіння вантажу під час переміщення, для крана СКГ-63 визначається за формулою (3.5):

$$R_{op} = R_{ps} + 5,0 = 30 + 5 = 35 \text{ м} \quad (3.5)$$

Монтажна зона будівлі, тобто ділянка, у межах якої можливе падіння вантажів під час їх установа, дорівнює контуру будівлі плюс 7 м. Для даного об'єкта вона становить (3.6):

$$S_m = (48 + 7) \times (72 + 7), \text{ м}^2$$

$$S_m = 55 \times 79 = 4345 \text{ м}^2 \quad (3.6)$$

Використання крана СКГ-63 забезпечує повне перекриття монтажної зони, раціональну організацію робіт і безпечне ведення монтажу всіх елементів каркаса будівлі.

3.4 Проектування будгенплану

3.4.1 Визначення площі складів

Під час організації складського господарства на будівельному майданчику необхідно забезпечити безперебійне постачання об'єкта матеріалами, конструкціями та виробами при мінімальних транспортних витратах і раціональному використанні території. Розміри складів визначаються з урахуванням добової потреби у матеріалах, норм запасів і умов зберігання.

За основу розрахунку площі складу того чи іншого матеріалу приймають добову витрату матеріалу, норму запасу в днях і норму зберігання. Площу складу визначають розрахунковим шляхом за формулою (3.7):

$$P_{\text{скл}} = \frac{Q}{T} \cdot \alpha_1 \cdot n \cdot k, \text{ м}^2 \quad (3.7)$$

$P_{\text{скл}}$ – кількість матеріалів, що підлягають зберігання на складі протягом розрахункового періоду;

T – тривалість розрахункового періоду, діб;

α_1 – коефіцієнт надходження матеріалів;

n – нормативна площа складу на одиницю виміру з урахуванням проходів і проїздів, м^2 ;

k – коефіцієнт нерівномірності надходження матеріалів.

Розрахунок площ складів основних будівельних матеріалів виконують з урахуванням добової потреби кожного виду матеріалу та прийнятих норм запасів.

Таблиця 3.4 – Розрахунок площі складів

Матеріали, вироби	Тривалість споживання, дні	Потреба		Коефіцієнти		Норма запасу днями	Прийнятій запас у натуральних показниках	Площа складів, м ²		Фактична площа складу, м ²
		загальна на розрахунковий період, Q	добова, Q/Г	надходження матеріалу, α	споживання матеріалів,			нормативна, n	розрахункова, S _{гр}	
Фундаментні балки	3,0	22,0 м ³	22,0 м ³	1,1	1,3	3,0	22,0 м ³	3,0	66,0	5,0×13,0
Колони	16,0	110,0 м ³	6,9 м ³	1,1	1,3	5,0	50,0 м ³	2,0	100,0	9,0×13,0
Підкранові балки	11,0	56,0 м ³	5,0 м ³	1,1	1,3	5,0	36,0 м ³	3,0	108,0	9,0×13,0
Ферми	8,0	66,0 м ³	8,3 м ³	1,1	1,3	5,0	59,0 м ³	3,5	207,0	9,0×25,0
Плити покриття	11,0	234,0 м ³	21,3 м ³	1,1	1,3	5,0	152,0 м ³	4,0	608,0	48,0×13,0
Цегла	8,0	90,00 тис. шт.	11,25 тис. шт.	1,1	1,3	5,0	7,2	2,5	203,0	5,0×40,0

Для сипких матеріалів (пісок, щебінь, цемент) враховується можливість їх відкритого зберігання на майданчиках, а для матеріалів, що потребують захисту від атмосферних впливів (арматура, цегла, бетонні вироби), передбачаються криті склади або навіси.

Розрахункові дані зводяться в таблицю, у якій зазначаються найменування матеріалу, добова потреба, норма запасу, тривалість зберігання, коефіцієнти нерівномірності надходження та розрахована площа складу.

Результати наведено у таблиці 3.4.

3.4.2 Розрахунок потреби у водопостачанні

Розрахунок потреби у воді виконується з урахуванням максимальної кількості водоспоживачів, які можуть одночасно користуватися водою на будівельному майданчику. Загальна витрата визначається сумою витрат на господарсько-питні, санітарно-гігієнічні, виробничі та пожежні потреби.

Витрата води на господарсько-питні потреби (3.8):

$$q_{\text{госп}} = \frac{b \cdot N_1 \cdot K_4}{3600 \cdot n}, \frac{\text{л}}{\text{с}} \quad (3.8)$$

$$q_{\text{госп}} = \frac{25,0 \cdot 72 \cdot 2}{3600 \cdot 8,2} = 0,12 \text{ л/с}$$

де $b = 25,0$ л – норма споживання води одним працівником за зміну;

$N_1 = 72$ чол. – кількість працюючих у найбільшу зміну;

K_4 – коефіцієнт годинної нерівномірності споживання води;

n – тривалість зміни, год.

Витрата води на санітарно-гігієнічні потреби:

$$q_{\text{сан}} = \frac{c \cdot N_2}{60 \cdot m}, \frac{\text{л}}{\text{с}} \quad (3.9)$$

$$q_{\text{сан}} = \frac{30,0 \cdot 29}{60 \cdot 45} = 0,32 \text{ л/с}$$

де $c = 30,0$ л – норма витрати води одним працівником при прийманні душу;

$N_2 = 0,4 \cdot N_1 = 29$ чол. – кількість працівників, які користуються душем у першу зміну;

m – тривалість роботи душових установок, хв.

Витрата води на виробничі потреби:

$$q_{\text{пр}} = \frac{s \cdot A \cdot K_4}{3600 \cdot n_1} \cdot K_{\text{кр}}, \frac{\text{л}}{\text{с}} \quad (3.10)$$

$$q_{\text{пр}} = \left(\frac{2 \cdot 400 \cdot 1,5}{3600 \cdot 8,2} + \frac{1,5 \cdot 210 \cdot 1,5}{3600 \cdot 8,2} \right) \cdot 1,2 = 0,1 \frac{\text{л}}{\text{с}}$$

де s_1 – питома витрата води на приготування 1 м³ бетону (400 л);

s_2 – питома витрата води на приготування 1 м³ розчину (210 л);

A_1, A_2 – обсяг бетонних і розчинних робіт за зміну, м³;

n_1 – тривалість зміни, год.;

$K_4 = 1,5$ – коефіцієнт нерівномірності споживання;

$K_{\text{пр}} = 1,2$ – коефіцієнт на невраховані витрати води.

Витрата води на пожежогасіння (3.11):

$$q_p = 5,0 \cdot 2 = 10,0 \text{ л/с} \quad (3.11)$$

де 5,0 л/с – витрата води через один пожежний гідрант;

2 – мінімальна кількість одночасно діючих гідрантів.

Сумарна витрата води на будівельному майданчику (3.12):

$$Q_{\text{доб}} = q_x + q_{\Delta} + q_{\text{пр}} + q_p, \frac{\text{л}}{\text{с}} \quad (3.12)$$

$$Q_{\text{доб}} = 0,12 + 0,32 + 0,1 + 10,0 = 10,54 \text{ л/с}$$

Визначення діаметра напірного водопроводу (3.13):

$$d = \sqrt{4 \cdot q_{\text{сум}} \cdot \frac{1000}{\Pi \cdot v}}, \text{ мм}$$

$$d = \sqrt{4 \cdot 10,54 \cdot \frac{1000}{3,14 \cdot 1,5}} = 95 \text{ мм}$$
(3.13)

де v – швидкість руху води у трубопроводі, м/с (для великих діаметрів приймається 1,5...2,0 м/с).

Для проектування приймається діаметр водопровідної труби 100 мм.

3.4.3 Визначення потреби в електропостачанні

При розробленні проекту виконання робіт проектування системи тимчасового електропостачання зводиться до визначення необхідної потужності джерела живлення.

Розрахунок виконується на основі встановленої потужності електроспоживачів, коефіцієнтів попиту, потужності та реактивного навантаження.

Розрахунок потужності джерела електропостачання наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Визначення потреби в електропостачанні

№	Найменування струмоприймача	Кількість, шт.	Встановлена потужність одиниці, Р, кВт	Загальна встановлена потужність, Р, кВт	Коефіцієнти			Розрахунок потужності	
					попиту, η_c	потужності	$\text{tg}\varphi$	активна P_M , кВт	реактивна Q_M , кВт
1	Зварювальний апарат	2,0	32,0	64,000	0,35	0,4	2,30	22,00	50,60
2	Малярна станція	1,0	40,0	40,000	0,70	0,8	0,75	30,00	23,00
3	Віброрейка	1,0	0,6	0,600	0,15	0,6	1,33	0,10	0,13
4	Внутрішнє освітлення	349,0 м2	15,0	5,235	0,10	1,0	0,00	4,80	0,00
5	Зовнішнє освітлення	6,0	1,5	9,000	1,00	1,0	0,00	9,00	0,00
Σ								65,90	73,73

Активна потужність визначається за формулою:

$$d = \sqrt{4 \cdot q_{\text{сум}} \cdot \frac{1000}{\Pi \cdot v}}, \text{ мм} \quad (3.14)$$

$$d = \sqrt{4 \cdot 10,54 \cdot \frac{1000}{3,14 \cdot 1,5}} = 95 \text{ мм}$$

Реактивна потужність:

$$Q_M = P_M \cdot \text{tg}\varphi \quad (3.15)$$

Розрахунковий коефіцієнт потужності визначається за формулою:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sum Q_M}{\sum P_M} = \frac{73,7}{65,9} = 1,1 \quad (3.16)$$

звідки $\cos\varphi = 0,67$.

Сумарне навантаження на будівельному майданчику становить:

$$\begin{aligned} \sum S_M &= \frac{\sum P_M}{\cos\varphi}, \text{ кВт} \\ \sum S_M &= \frac{65,9}{0,67} = 98,3 \text{ кВт} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Необхідна потужність трансформаторної підстанції визначається за формулою:

$$\begin{aligned} P_{\text{пр}} &= 1,1 \cdot S_M \cdot K_{\text{мп}}, \text{ кВт} \\ P_{\text{пр}} &= 1,1 \cdot 98,3 \cdot 0,8 = 87,0 \text{ кВт} \end{aligned} \quad (3.18)$$

де $K_{\text{мп}} = 0,8$ – коефіцієнт збігу навантажень.

Для забезпечення електропостачання будівельного майданчика приймається пересувна комплексна трансформаторна підстанція типу СКТП-180-10/6/0,4/0,23, яка забезпечує стабільне живлення всіх електроспоживачів і відповідає вимогам техніки безпеки та електротехнічних норм.

3.4.4 Визначення площі тимчасових приміщень

Визначення площ тимчасових будівель і споруд виконано за максимальною чисельністю персоналу, що одночасно перебуває на будівельному майданчику.

За календарним планом пікове завантаження становить 72 особи, що відповідає 83,9% загальної чисельності.

Звідси розрахункове значення: $N = (72 * 100) / 83,9 \approx 86$ осіб.

Один відсоток дорівнює 0,86 особи; отже, службовців орієнтовно 3 особи ($0,86 * 3,6$), ІТП — 9 осіб ($0,86 * 11,0$), МОП та охорона — 1 особа ($0,86 * 1,5$). Загальна чисельність з урахуванням резерву на відпустки й тимчасову непрацездатність визначена як $N_{\text{заг}} = (86 + 3 + 9 + 1) * 1,05 \approx 104$ особи.

Саме це значення прийнято базовим для нормування площ тимчасових будівель.

Санітарно-побутовий блок сформовано за нормативними питомими показниками на 104 особи. Для санвузлів, душових та приміщень особистої гігієни прийняті інвентарні модулі заводського виконання з паспортними площами, що сумарно забезпечують необхідну пропускну спроможність у пікові години.

Передбачено сушильне приміщення для спецодягу, кімнату відпочинку та обігріву з місткістю, достатньою для розосереджених перерв бригад, а також їдальню модульного типу з запасом площі відносно мінімальної норми, що дає резерв на нерівномірність потоку. Медичне обслуговування організовано через окремий модуль медпункту.

Таблиця 3.6 – Визначення площ тимчасових будівель і споруд

№ з/п	Найменування приміщення	Норма площі / розрахунок, м ²	Розмір, м	Площа м ²	Кількість, шт.	Загальна площа, м ²
1. Санітарно-побутові приміщення						
1.1	Вбиральня	0,9 × 104 = 94,0	3,0 × 6,0	17,2	5	86,0
1.2	Душова	0,43 × 104 = 45,0	3,0 × 9,0	24,3	2	48,6
1.3	Приміщення для особистої гігієни жінок	0,15 × 104 = 15,6	2,8 × 9,1	19,8	1	19,8
1.4	Туалет чоловічий	2 очки на 70 чол.	1,3 × 1,2	1,4	2	2,8
1.5	Сушильна	0,2 × 104 = 20,0	3,0 × 6,0	18,0	1	18,0
1.6	Приміщення для відпочинку та обігріву робітників	0,8 × 104 = 83,0	12,0 × 6,0	78,0	1	78,0
1.7	Їдальня	0,6 × 104 = 62,0	9,0 × 9,0	81,0	1	81,0
1.8	Медпункт	—	3,0 × 9,0	24,3	1	24,3
Разом по розділу 1						≈358,7
2. Службові приміщення						
2.1	Прорабська	≥16,0	3,0 × 6,0	15,4	1	15,4
2.2	Диспетчерська	—	3,0 × 6,0	18,0	1	18,0
Разом по розділу 2						33,4
Усього тимчасових будівель						≈392,1 м²

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ В БУДІВНИЦТВІ

4.1 Пожежна безпека на будівельному майданчику

Пожежна безпека під час виконання будівельно-монтажних робіт є обов'язковою складовою організації будівельного виробництва та ґрунтується на вимогах чинного законодавства і спеціальних нормативних документів, які регламентують порядок запобігання пожежам, вимоги до тимчасових споруд, будівельних майданчиків та умов експлуатації обладнання.

На будівельному об'єкті заходи протипожежного захисту мають бути передбачені у проєктах організації будівництва та виконання робіт, а також реалізовані під час практичної діяльності виконавців.

Будівельний майданчик повинен функціонувати таким чином, щоб мінімізувати можливість виникнення загоряння, забезпечити безпечне розміщення матеріалів, тимчасових споруд і технічних засобів, а також створити умови для оперативної евакуації людей та швидкого доступу аварійно-рятувальних підрозділів.

Усі працівники зобов'язані знати вимоги інструкції, порядок використання первинних засобів пожежогасіння та алгоритм дій у разі виявлення небезпечної ситуації. Керівники робіт відповідають за організацію протипожежних заходів, проведення інструктажів, контроль за станом майданчика та підтримання справності обладнання.

Під час виконання будівельних робіт необхідно забезпечити відповідне планування території згідно з будгепланом, передбачити вільні під'їзди для пожежної техніки, розмістити тимчасові споруди з дотриманням протипожежних розривів, а також обладнати їх табличками із зазначенням відповідальних осіб.

Місця зберігання матеріалів мають організовуватися таким чином, щоб уникнути надмірного накопичення горючих речовин; відходи, здатні підтримувати горіння, необхідно регулярно прибирати та вивозити у спеціально відведені зони. Роботи з монтажу конструкцій, що містять горючі

утеплювачі або вимагають застосування відкритого вогню, виконуються тільки за нарядом-допуском із визначенням конкретних запобіжних заходів, відповідальних осіб і строку дії документа. Додаткової уваги потребують процеси, пов'язані з використанням устаткування, здатного нагріватися або створювати іскри.

Таблиця 4.1 – Основні відповідальні особи та їх обов'язки у сфері пожежної безпеки

Посада / роль	Зона відповідальності	Основні функції
Керівник будівельної організації	Пожежна безпека об'єкта в цілому	Організація системи протипожежного захисту, затвердження заходів безпеки, контроль виконання вимог
Виконавець робіт	Пожежна безпека конкретної ділянки	Забезпечення наявності засобів пожежогасіння, виконання протипожежних заходів
Керівник субпідрядної організації	Дотримання пожежних норм персоналом субпідрядника	Організація інструктажів, контроль застосування обладнання, усунення виявлених порушень
Відповідальний за пожежну безпеку	Оперативний контроль стану території	Огляд майданчика, перевірка справності обладнання, повідомлення про загрози
Працівники	Виконання вимог інструкції	Дотримання норм, правильне користування інструментами, прибирання відходів, вміння діяти у разі пожежі

Обладнання повинно застосовуватися лише у справному стані, а його експлуатація має відповідати вимогам виробника та пожежної безпеки. Опалення тимчасових будівель, сушіння одягу, робота теплових агрегатів та застосування газових установок допускаються лише за умови суворого дотримання встановлених норм і розміщення обладнання на безпечних відстанях від конструкцій та електричних приладів. Зони електропрогрівання бетону та інші потенційно небезпечні місця повинні бути позначені попереджувальними написами, а доступ до них має контролюватися відповідальними працівниками.

Організація пожежної безпеки передбачає стабільний контроль за технічним станом вогнегасників та іншого обладнання, підтримання справності шляхів евакуації та періодичний огляд території будівництва на предмет дотримання вимог інструкції.

У разі виявлення порушень відповідальний працівник зобов'язаний негайно повідомити керівника робіт і забезпечити усунення недоліків.

На об'єктах, де працює понад п'ятнадцять осіб, створюється добровільна пожежна дружина, яка сприяє підтриманню протипожежного порядку та діє відповідно до затверджених внутрішніх нормативів.

4.2 Порядок дій у випадку повітряної тривоги

У разі оголошення повітряної тривоги всі роботи на будівельному майданчику негайно припиняються, а працівники мають організовано перейти до безпечної зони. Керівник робіт або відповідальний за безпеку зобов'язаний повідомити персонал про сигнал тривоги доступними засобами зв'язку, проконтролювати зупинку механізмів, відключення електрообладнання та фіксацію вантажопідіймальних пристроїв у положенні, що виключає їх некерований рух. Після зупинки робіт працівники повинні залишити небезпечні ділянки, зокрема зони роботи кранів, місця з монтажем конструкцій, ділянки відкритих котлованів і високих підмостків, та

прослідувати до визначеного укриття або іншого безпечного місця, передбаченого проектом організації будівництва. Укриття, що використовується під час повітряної тривоги, має бути позначене завчасно, а працівники повинні бути ознайомлені з маршрутом руху та правилами перебування всередині.

Відповідальна особа перевіряє наявність працівників, забезпечує зачинення укриття та організовує порядок розміщення людей у межах приміщення.



Рисунок 4.1 – Варіант модульного укриття

До завершення повітряної тривоги заборонено залишати місце укриття або перебувати на відкритій території будівельного майданчика. Після отримання офіційного сигналу про відбій тривоги керівник робіт проводить огляд території, перевіряє стан техніки, інженерних мереж і тимчасових споруд.

Лише після підтвердження відсутності загроз та можливості безпечного відновлення процесів роботи можуть повернутися до виконання своїх обов'язків. Дотримання цього порядку дій є необхідною умовою мінімізації ризиків для працівників та забезпечення належного рівня безпеки під час надзвичайних ситуацій, пов'язаних із воєнними загрозами.

4.3 Охорона праці при використанні гусеничного крана

Безпечна експлуатація гусеничного крана вимагає врахування особливостей його конструкції, дії зовнішніх навантажень та стану ґрунтової основи.

Цей тип техніки має високий ризик виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із втратою стійкості, перевантаженням, технологічними дефектами або порушенням правил експлуатації.

Основним чинником безпечної роботи є забезпечення достатнього запасу стійкості, що визначається співвідношенням між перекидаючим моментом, утвореним вантажем або зовнішніми впливами, та утримуючим моментом, який формується масою крана та його противагами.

Для надійності утримуючий момент повинен перевищувати перекидаючий щонайменше на встановлену нормативами величину.

На стійкість гусеничного крана суттєво впливають вітрове навантаження, прискорення під час пуску та гальмування, а також відхилення робочої площини від горизонталі. Зміщення центру ваги при роботі на схилах або нерівних ділянках зменшує запас стійкості, що може створити загрозу перекидання техніки. Саме тому вибір місця встановлення крана, підготовка основи та контроль за її несучою здатністю є обов'язковими передумовами початку роботи.

Експлуатація крана на ділянках зі значним ухилом допускається лише за умови застосування спеціальних опор і вирівнювання площадки. Перед початком зміни машиніст повинен провести огляд механізмів, перевірити

гальмівні системи, електрообладнання та сигналізацію, а також виконати пробний запуск без навантаження. Виявлені дефекти мають бути зафіксовані та усунуті до початку роботи.

Під час експлуатації вантаж має підніматися плавно, без ривків і надмірних прискорень, щоб уникнути динамічних навантажень, які знижують стійкість крана.

Погодні умови також мають важливе значення: роботу забороняється виконувати при сильному вітрі, наближенні грози чи зниженні видимості, оскільки ці фактори збільшують ризик аварійної ситуації. Особлива увага приділяється роботі поблизу ліній електропередач, де мінімально допустима відстань між стрілою крана та проводами залежить від напруги мережі й визначається відповідними нормативами.

Експлуатація крана в межах охоронної зони ЛЕП допускається лише за наявності наряду-допуску та під контролем відповідальної особи. Забезпечення належного технічного стану крана включає періодичні огляди, технічні опосвідчення, статичні й динамічні випробування, результати яких фіксуються у паспорті техніки.

Під час статичного випробування перевіряється міцність конструкцій та вантажна стійкість крана, тоді як динамічне випробування дозволяє оцінити працездатність механізмів при реальних навантаженнях. Експлуатація допускається лише після позитивних результатів перевірок.

Загалом безпечна робота гусеничного крана залежить від правильного підбору робочих параметрів, дотримання регламентів технічного обслуговування, забезпечення стійкості та точного виконання працівниками встановлених правил.

Комплексний контроль усіх цих аспектів дозволяє підтримувати належний рівень безпеки та зменшує ймовірність аварійних ситуацій на будівельному майданчику.

4.4 Контроль якості при монтажі залізобетонних конструкцій

Забезпечення якості під час монтажу збірних залізобетонних елементів передбачає комплекс перевірок, спрямованих на підтвердження відповідності конструкцій, матеріалів і технологічних операцій проектним вимогам. Контроль виконується на всіх стадіях монтажу – від приймання виробів до підтвердження готовності конструктивних елементів до подальших робіт.

Одним із ключових завдань контролю є оцінка стану конструкцій, що надходять на монтаж. Перевіряється відсутність механічних пошкоджень, правильність маркування, відповідність геометричних параметрів заводській документації та наявність необхідних закладних елементів. Особлива увага приділяється якості матеріалів, що використовуються для заповнення стиків: бетонних сумішей, антикорозійних покриттів, ущільнювальних матеріалів.

Під час виконання монтажних операцій контролюють дотримання заданої технологічної послідовності. Важливим є забезпечення належної стійкості змонтованих елементів, правильність тимчасового закріплення та відсутність зміщень під час виконання суміжних робіт. Просторове положення конструкцій уточнюється геодезичними засобами, причому контроль проводиться безперервно – від моменту подачі елемента до завершення його фіксації в проектному положенні.

З'єднання елементів – зварні, болтові або замонолічені – підлягають обов'язковій перевірці. Оцінюють якість зачистки поверхонь, правильність розташування арматури в стиках, щільність заповнення зазорів цементними або спеціальними ремонтними складами. Монолітні ділянки приймаються після досягнення необхідної міцності, що підтверджується візуально або результатами контрольних випробувань.

До початку монтажу мають бути завершені й прийняті всі підготовчі операції: розбивочні роботи, перевірка закладних деталей, огляд фундаментів, готовність монтажного обладнання та стропувальних засобів.

Підтвердженням виконання цих робіт є відповідні акти й записи у виконавчій документації.

У процесі монтажу всі дані фіксуються у журналах: монтажу конструкцій, зварювальних робіт, контролю антикорозійного захисту, а також у виконавчих геодезичних схемах. Кожен встановлений елемент повинен бути відображений у виконавчому плані із вказанням фактичних відхилень.

Після завершення монтажу окремого конструктивного елемента здійснюється його приймальний контроль. Для цього монтажна організація подає пакет документів, який включає:

- виконавчі креслення з фіксацією відхилень;
- паспорти заводського виготовлення залізобетонних виробів;
- сертифікати на матеріали, застосовані під час монтажу;
- акти огляду прихованих робіт;
- акти приймання відповідальних конструкцій;
- журнали технологічних операцій;
- виконавчі геодезичні схеми;
- результати контролю зварних та болтових з'єднань;
- протоколи випробувань елементів, якщо такі були передбачені.

У сучасній практиці контролю якості монтажу збірних залізобетонних конструкцій дедалі частіше застосовуються інструментальні системи фіксації положення елементів. Використання лазерних нівелірів та 3D-сканерів дозволяє оперативно визначати фактичні відхилення, зменшуючи ризик накопичення помилок у висотних відмітках і горизонтальних координатах. Окремі організації застосовують цифрову виконавчу документацію з інтеграцією у BIM-моделі.

Особливе місце в контролі займає оцінка умов тверднення замонолічуваних стиків. Температура навколишнього середовища, вологість та можливість вібрацій можуть впливати на початкові характеристики монолітних включень. У випадку низьких температур обов'язковими є заходи з електропрогріву або накриття конструкцій термоізоляційними матеріалами.

При монтажі у складних умовах – обмеженість простору, щільна забудова, робота на висоті – додатково контролюється якість тимчасових огорожень і безпека маршрутів переміщення працівників. Перевіряються характеристики стропувальних елементів, правильність вибору вантажопідйомного устаткування та узгодження дій монтажної бригади зі стропальниками й машиністами кранів.

Усі вказані заходи формують єдину систему контролю якості, яка забезпечує надійність, безпеку та довговічність змонтованих залізобетонних конструкцій.

4.5 Розрахунок кількості прожекторів

Визначення необхідної кількості прожекторів для освітлення будівельного майданчика виконується на основі нормованої освітленості, коефіцієнта запасу та потужності одного світильника. Для цього використовується формула (5.1):

$$N = \frac{m \cdot E_n \cdot k \cdot A}{P_{\text{л}}}, \text{ шт} \quad (5.1)$$

де m – коефіцієнт, що враховує світлову віддачу джерела світла, ККД прожектора та коефіцієнт використання світлового потоку (для ламп накаливання приймається 0.20–0.25);

E_n – нормована освітленість поверхні, лк;

k – коефіцієнт запасу;

A – площа ділянки, м²;

$P_{\text{л}}$ – потужність однієї лампи, Вт.

Площа будмайданчика становить $A = 15000 \text{ м}^2$.

Нормовану освітленість для відкритих робочих територій приймають за формулою (5.2):

$$E_n = 2 \times n \times k \quad (5.1)$$

де n – базовий показник освітленості для зовнішніх робочих зон;

k – коефіцієнт запасу (у розрахунку прийнято $k = 1.5$).

Для освітлення вибрано прожектор типу ПЗС-45 з лампою потужністю $P_{\text{л}} = 1500$ Вт.

Підставою в розрахунок отримано:

$$N = \frac{2 \times 1,5 \times 15480}{1500} = 6 \text{ шт}$$

Отже, для забезпечення нормативної освітленості території достатньо шести прожекторів.

Їх розміщують на окремих освітлювальних щоглах, рівномірно розташованих по периметру будівельного майданчика, що гарантує відсутність тіньових зон і створює безпечні умови роботи в темний час доби.

Схема розташування прожекторів наведена на будівельному генеральному плані в графічній частині дипломного проєкту.

РОЗДІЛ 5. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

5.1 Аналіз структури та особливостей енергоспоживання у промислових будівлях

Промислові будівлі належать до категорії об'єктів з одним із найвищих рівнів енергоспоживання. Для них характерне комплексне використання енергії як на підтримання роботи виробничого обладнання, так і на забезпечення належного мікроклімату, освітлення та інших потреб будівлі. Структура енергоспоживання промислового об'єкта зазвичай включає декілька основних компонентів: технологічні процеси, системи опалення й охолодження, вентиляція, освітлення та допоміжне обладнання. Співвідношення між цими складовими залежить від специфіки виробництва та конструктивних особливостей будівлі, що визначає унікальні риси енергоспоживання в кожному випадку.

Для більшості енергоємних підприємств (металургія, хімічна промисловість, виробництво будматеріалів тощо) найбільшу частку енерговитрат становлять технологічні процеси – робота верстатів, печей, компресорів, насосів та іншого обладнання. У таких випадках на підтримання мікроклімату будівлі (опалення, вентиляцію, кондиціонування) та освітлення припадає менша частина загального споживання енергії. Приміром, у металургійному цеху переважна кількість енергії витрачається безпосередньо на плавку та обробку металу, тоді як опалення і вентиляція використовують допоміжний тепловий потенціал від технологічних печей. Проте у легкій промисловості та високотехнологічних галузях ситуація інша: виробниче обладнання може споживати відносно менше енергії, натомість значну її частку використовують системи забезпечення потрібних параметрів середовища. Наприклад, на електронних чи фармацевтичних підприємствах багато енергії йде на підтримання суворих умов чистоти, температури й вологості повітря, тобто на вентиляцію з фільтрацією, кондиціонування та прецизійне опалення. У сучасних складських логістичних комплексах взагалі

більша частина енергії може витрачатися на опалення великих об'ємів приміщення та освітлення, оскільки власне “процесу” як такого там мінімум – основне навантаження створюють системи підтримання комфортної температури для персоналу і збереження товарів, а також потужне штучне освітлення простору.

Порівняльні діаграми тепловтрат через стіни та покрівлі в європейських країнах демонструють суттєві відмінності у нормативній ефективності теплоізоляції (рис. 5.1, 5.2).

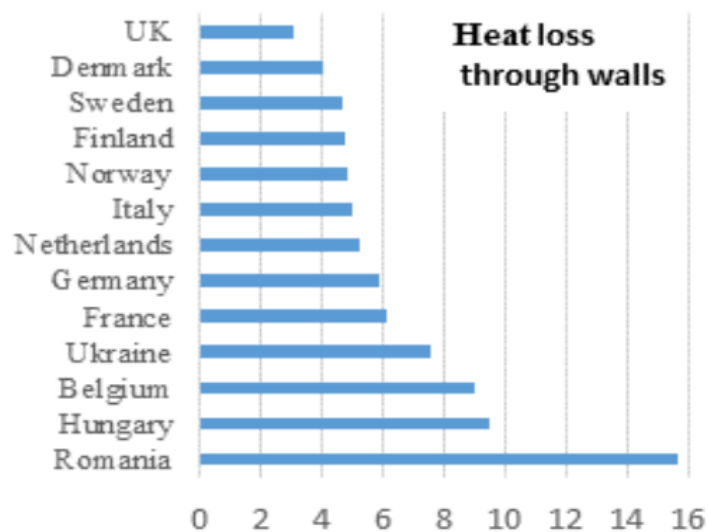


Рисунок 5.1 – Втрати тепла через стіни [32]

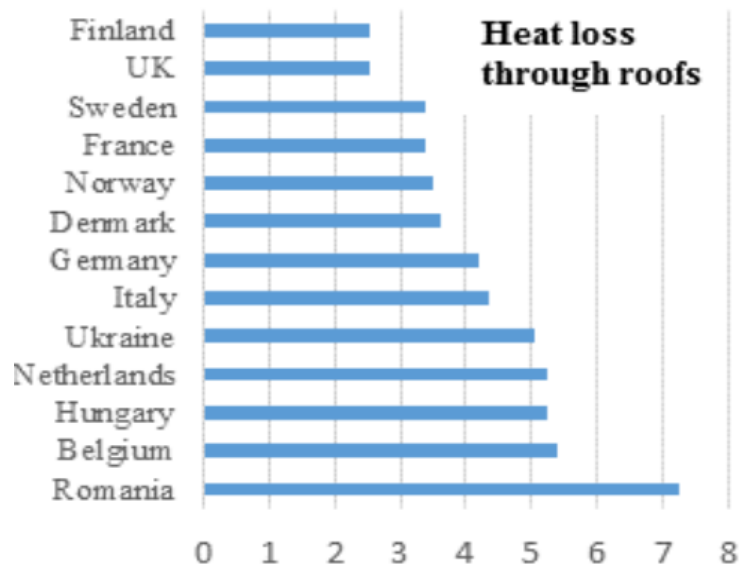


Рисунок 5.2 – Втрати тепла через дах [32]

Країни Північної Європи, як зазначено на рис. 5.1., характеризуються найменшими тепловтратами, що свідчить про жорсткі стандарти та необхідність високого рівня термічного захисту в умовах низьких температур. У той час температура нормативних втрат у країнах Південної та Східної Європи є істотно вищою, що свідчить про іншу структуру вимог і меншу ефективність теплоізоляційних рішень. Зокрема, Україна у наведених порівняннях займає середні позиції, що узгоджується з висновками про недостатню ефективність національних норм. Таке зіставлення підтверджує наявність міжкраїнної нерівномірності у вимогах до термічного захисту та підкреслює потребу підвищення теплової стійкості огорожувальних конструкцій для зменшення енергоспоживання.

Особливістю енергоспоживання промислових будівель є також нерівномірність розподілу та режимів використання енергії. Багато підприємств працюють у безперервному режимі 24/7, що означає постійне споживання енергії без нічних або вихідних перерв. Це відрізняє їх від більшості громадських будівель, де вночі чи у неробочі години системи можуть бути вимкнені або переведені в економний режим. Для промислових об'єктів такої можливості часто немає: навіть у паузах між робочими змінами потрібно підтримувати мінімальну температуру, працюють вентиляційні установки для видалення викидів, діє чергове освітлення, продовжують функціонувати холодильні установки або інше допоміжне обладнання. Результатом є високий базовий рівень енергоспоживання, на який накладаються пікові навантаження під час активної фази технологічного циклу.

Конструктивні й планувальні особливості промислових будівель також суттєво впливають на характер енергоспоживання. Як правило, такі споруди мають значні розміри та об'єм: великопрогонні цехи, високі стелі, значну площу зовнішніх огорожувальних конструкцій (стін та покрівлі). Великий внутрішній об'єм повітря означає, що для його нагрівання взимку чи охолодження влітку потрібна значна кількість енергії. Високі стелі призводять

до явища стратифікації повітря: тепле повітря підіймається догори, утворюючи теплову подушку під дахом, тоді як нижні робочі зони можуть залишатися відносно прохолодними. Через це традиційне опалення конвективного типу (радіатори або повітряні теплогенератори) у високих цехах працює неефективно – велика частка теплоти втрачається під стелею. Для компенсації можуть застосовуватися спеціальні дестратифікаційні вентилятори, що перемішують повітря, або променисті (інфрачервоні) системи опалення, які безпосередньо обігрівають робочі зони без потреби прогрівати весь об'єм повітря. Таким чином, інженерні рішення прив'язуються до геометрії будівлі, щоби зменшити марні втрати енергії та забезпечити рівномірний розподіл тепла.

Основні заходи, спрямовані на підвищення ефективності промислового будівництва, умовно поділяються на архітектурні (рис. 5.3) та технічні.



Рисунок 5.3 – Використання аераційних ліхтарів

До архітектурних засобів належать економія штучного освітлення за рахунок використання природного світла, застосування світло-аераційних ліхтарів, повторне використання тепла у системах вентиляції та кондиціонування, а також використання природної вентиляції [33]. Технічні заходи включають використання альтернативних джерел енергії, застосування теплових насосів, зниження температури в опалювальних системах, покращення теплоізоляції фасадів і покрівель, використання ґрунтових вод

для систем охолодження та технічних потреб, застосування екологічних будівельних матеріалів, централізоване управління вентиляційними системами та використання надлишкового технологічного тепла.

Ще один фактор – ступінь утеплення і герметичності огорожувальних конструкцій. Історично промислові будівлі споруджувалися з мінімальною теплоізоляцією (наприклад, тонкі одношарові стіни з цегли чи панелей, величезні вікна без енергозберігаючого скління), оскільки пріоритетом були низькі капітальні витрати та технологічні вимоги, а енергоносії коштували відносно дешево. Наслідком стали надмірні тепловтрати: взимку такі цехи швидко охолоджуються, влітку перегріваються, і системам ОВК (опалення, вентиляції, кондиціонування) доводиться працювати з підвищеним навантаженням. Крім того, погана герметичність – щілини у воротах, незачинені прорізи, неущільнені стики панелей – веде до неконтрольованого інфільтраційного повітрообміну. Холодне зовнішнє повітря просочується всередину взимку, а кондиційоване повітря виходить назовні, зводячи нанівець зусилля з підтримання стабільного клімату. Аналіз енергоспоживання показує, що в будівлях із неізольованими стінами та протягами потреби в теплі на опалення можуть бути в рази більші, ніж у добре утеплених і герметичних спорудах аналогічного розміру.

Важливо врахувати і специфічні вимоги різних типів виробництв до мікроклімату, які впливають на витрати енергії. Деякі технологічні процеси самі виділяють значну кількість тепла (наприклад, доменні печі, прокатні стани, хімічні реактори), що в холодну пору може частково покривати потребу в опаленні приміщення. Проте влітку надлишкове технологічне тепло перетворюється на проблему – цех перегрівається, і тоді потрібні вентиляція чи навіть активне охолодження, щоб відвести тепло і підтримати прийнятну температуру для обладнання та персоналу. Інші процеси, навпаки, потребують відведення тепла (наприклад, охолодження лиття чи холодильне зберігання продукції). У таких випадках будівля працює як термос, і теплоізоляція вже служить для збереження холоду всередині, а енергія витрачається на постійну

роботу холодильної техніки. Наприклад, на складах-холодильниках чи морозильних камерах частка електроенергії на роботу компресорів холоду та вентиляторів випарників є домінуючою, а якість теплоізоляції стін напряду визначає рівень теплоприпливів ззовні.

Таблиця 5.1 – Аналіз витрати теплової енергії по видам будівлі [34]

Індивідуальний житловий будинок 140 м ² загальної площі	Річна витрата тепла, кВт-год/м ³ рік	Питома витрата тепла, Вт-год/м ²
Будинки старої забудови (до середини 90-х рр.)	600	125
Будинки згідно ДБН В 2.2-15-2005	150	70
Будинки низького енергоспоживання	70	14...32
Будинки ультранизького енергоспоживання	30...15	14...7
Сучасний пасивний будинок	менше 15	менше 7

Таким чином, аналіз структури енергоспоживання промислових будівель показує, що воно формується сукупністю дуже різномірних складових – від технологічних агрегатів до огорожувальних конструкцій. У кожному конкретному випадку співвідношення між ними різне, проте загальною тенденцією є високі експлуатаційні витрати на енергію через великі розміри будівель, інтенсивні виробничі процеси та тривалий час роботи. Це диктує потребу в спеціальних енергоефективних підходах до проектування: враховувати особливості виробництва, оптимізувати конструкцію будівлі та інженерні системи так, щоб мінімізувати втрати енергії без шкоди для технологічних вимог.

Першим кроком до цього є детальний аналіз всіх напрямків використання енергії в будівлі – від цехового обладнання до систем опалення і вентиляції – аби визначити, де існують найбільші потенційні резерви економії. Зрозумівши структуру споживання і особливості кожного її компонента, можна переходити до розробки інженерних рішень для скорочення витрат, про що йтиметься в наступних розділах.

5.2 Дослідження теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій та ефективності систем повітрообміну

Теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій промислової будівлі визначають, наскільки ефективно вона зберігає тепло або прохолоду, тобто як мало енергії витрачатиметься на компенсацію тепловтрат через стіни, покрівлю, підлогу, вікна та двері.

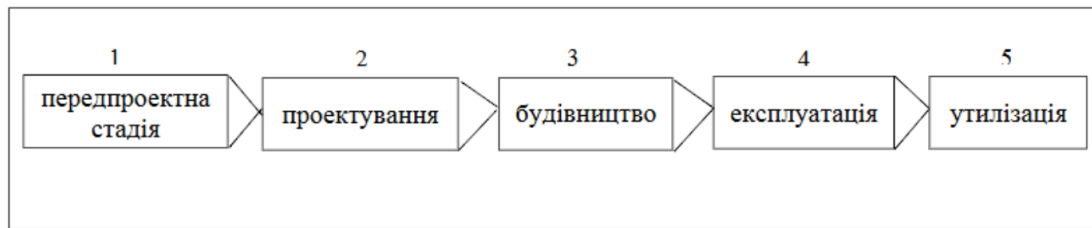


Рисунок 5.4 – Концептуальне представлення життєвого циклу об’єктів

Одночасно системи повітрообміну (вентиляції) відповідають за підтримання якості повітря і регулювання внутрішнього середовища, проте при неефективній роботі вони можуть стати джерелом значних додаткових енерговитрат. Дослідження цих двох аспектів – теплоізоляційних властивостей конструкцій та ефективності вентиляційних рішень – є ключовим для енергоефективного проектування промислових будівель, адже саме через огороження і вентиляцію будівля втрачає або набуває більшу частину теплової енергії.

Будівельна теплофізика огорожувальних конструкцій. Промислові будівлі можуть мати різні типи зовнішніх стін і покрівель – від цегляної або залізобетонної оболонки до легких металевих каркасів з сендвіч-панелями. Кожен матеріал і конструктивна схема має свої теплотехнічні параметри: коефіцієнт теплопровідності матеріалу, товщину і структуру шарів, наявність термомостів тощо. Сучасний підхід до конструкцій цехів і складів передбачає використання високоефективних утеплювачів: наприклад, стінові панелі з шаром мінеральної вати або пінополіуретану значної товщини, багатошарові

фасадні системи, покрівлі з теплоізоляційними плитами і мембранним покриттям, тощо. Це дозволяє забезпечити високий опір теплопередачі стін і даху, аби зменшити потік тепла крізь них. Навіть без наведення конкретних числових показників зрозуміло: чим більший опір огороження теплопередачі, тим менше тепловтрат узимку (і теплоприпливів влітку). У добре утеплених сучасних промислових будівлях витрати енергії на опалення можуть бути на десятки відсотків нижчими, ніж у будівлях старого типу з аналогічною площею, але без належної теплоізоляції.

Крім товщини утеплювача, велике значення має відсутність термічних мостів – ділянок конструкцій, що проводять тепло інтенсивніше, ніж основна огорожувальна поверхня. У промислових будівлях такими вразливими місцями часто є стики панелей, кріплення обладнання до стін, неізольовані металеві колони каркасу, що проходять крізь утеплювач, та інші конструктивні елементи. Якщо не вжити заходів – наприклад, застосування терморозривів, ізоляції навколо колон, герметизації швів – через ці мостики може втрачатися значна частка тепла, навіть якщо основна площа стін добре ізольована.



Рисунок 5.5 – Використання технології «Теплий край» [34]

Дослідження температурних полів огорожень показують, що одна незахищена сталева балка або незакритий зазор можуть звести нанівець користь від багатьох квадратних метрів утепленої стіни, оскільки холод

проникає в приміщення локально, створюючи зони дискомфорту і конденсації. Тому енергоефективне проектування ретельно опрацьовує вузли примикань і кріплень: передбачаються термовставки в металевих конструкціях, багат шарові ущільнення стиків панелей, теплоізоляція навколо прорізів.

Вікна, двері та ворота – ще один критичний елемент теплотехніки будівлі. У промислових цехах традиційно було багато скління (лінії вікон під стелею, ліхтарі верхнього світла) для денного освітлення, а також великі ворота для в'їзду техніки. Скління є значно менш енергоефективним, ніж стіна, тому сучасна практика – застосування склопакетів з теплоізоляційним склом (наприклад, з напиленням, що знижує тепловтрати) або заповненням інертним газом, аби підвищити опір теплопередачі світлопрозорих конструкцій.

Великі стрічкові вікна минулих часів нині часто замінено на сучасні фасадні системи з контролем сонячних променів, які одночасно дають достатньо світла, але не випромінюють надміру тепла назовні. Водночас світлові ліхтарі на дахах (шедові або купольні) проектуються з багат шаровим полікарбонатом чи склопакетами і обов'язково з шторками чи екрануванням від зайвого сонячного нагріву влітку. Ворота та двері у енергоефективній промисловій будівлі також виконуються утепленими (секційні або рулонні ворота зі спіненим наповнювачем усередині), оснащуються ущільнювачами по периметру. Для інтенсивно експлуатованих отворів розробляються тамбури-шлюзи: подвійні ворота або повітряні завіси, що не дозволяють зовнішньому холодному повітрю вільно залітати всередину при відкриванні. Ці заходи значно знижують теплові втрати за рахунок інфільтрації: час відкриття воріт скорочується, а потоки повітря розділяються. Практичні вимірювання на складах показують, що встановлення швидкісних воріт та повітряних завіс може зменшити втрати тепла на завантажувальних зонах на десятки відсотків, покращуючи загальний енергобаланс будівлі.

Не менш важливим аспектом є герметичність будівельної оболонки. Промислові будівлі великої площі мають багато стиків і вводів комунікацій,

через які можливі витоки повітря. Під час енергоаудитів нерідко виявляють значні неконтрольовані витрати тепла саме через нещільності – протяги у стінах та покрівлі, особливо в зоні стику даху зі стінами, навколо ліхтарів, вентиляційних шахт. Сучасні підходи вимагають високої повітронепроникності огорожень: застосування паро- та гідроізоляційних плівок, мембран, герметиків у швах, проведення тестів на повітропроникність (наприклад, методом «blower door test») для виявлення та усунення витоків. Герметична будівля не «дихає» через щілини – весь повітрообмін має здійснюватися контрольовано через вентиляційну систему. Це створює передумови для набагато ефективнішого використання теплоти: повітря, що виходить, можна направити через рекупераційний теплообмінник, а не втрачати його даремно через щпарини.

Ефективність систем повітрообміну (вентиляції) тісно пов'язана з теплотехнічними показниками оболонки, адже через вентиляцію будівля також може втрачати тепло або отримувати зайве. Вентиляція потрібна для видалення забруднень (пилу, диму, випарів), надлишкової вологи та тепла, а також для подачі свіжого повітря працівникам та на процеси горіння (якщо є печі, котли). У промислових будівлях застосовують різні схеми повітрообміну: природну вентиляцію (через кватирки, аераційні ліхтарі на даху) чи примусові механічні системи (вентиляційні установки з вентиляторами, каналами, фільтрами). Кожна схема має свої особливості енерговитрат. Природна вентиляція не потребує електроенергії для вентиляторів, але взимку призводить до значних тепловтрат, бо холодне повітря заходить прямо ззовні, а тепле виходить наверх через шахти. До того ж, природний потік складно регулювати: при сильному вітрі або різниці температур може відбутися надлишковий повітрообмін (перемерзання цеху), або навпаки – застій повітря в спеку. Тому сучасні проекти промислових об'єктів зазвичай передбачають механічну припливно-витяжну вентиляцію з можливістю точно дозувати кількість повітря і його параметри.

Для енергоефективності вентиляції головним є рекуперація тепла та оптимальне керування повітряними потоками. Рекуперація – це процес утилізації теплоти витяжного повітря для нагрівання холодного припливного.



Рисунок 5.6 – Співвідношення використання енергії об'єктами [35]

Спеціальні теплообмінники (рекуператори) встановлюються у вентиляційних агрегатах: це можуть бути пластинчасті теплообмінники, роторні (обертіві) регенератори або контури з проміжним теплоносієм. За рахунок них значна частина теплової енергії, яка міститься у теплому відпрацьованому повітрі, повертається назад. Без рекуперації вся теплота, витрачена на обігрів цеху, просто вилітає назовні при вентиляції. З рекуперацією – до 60–80% цієї енергії може бути передано припливному потоку, тобто економія тепла є суттєвою. Аналогічно влітку прохолода кондиціонованого повітря може частково передаватися зовнішньому гарячому припливу, знижуючи навантаження на холодильні машини. Ефективність систем повітрообміну напряму залежить від використання таких схем: на сьогодні вентиляційні установки промислових будівель майже завжди

проектуються з теплоутилізаторами, оскільки це дає великий вигаш у енергозбереженні.

Наступний аспект – раціональна організація повітрообміну. Це означає, що повітря потрібно подавати і видаляти саме там і в тій кількості, де необхідно, і тоді, коли необхідно. Наприклад, якщо процес виділяє багато тепла чи забруднень локально (зварювальний пост, паяння, ділянка з виділеннями хімічних парів), доцільно застосувати місцеві відсмоктувачі або зональну вентиляцію, щоб видаляти забруднене повітря безпосередньо від джерела, не розбавляючи його по всьому об'єму цеху.

Це зменшить загальну потребу в повітрообміні для всього приміщення. Так само, робітникам у певній зоні потрібне свіже повітря – варто організувати прицільну подачу припливу в цю зону, а не рівномірно по всьому цеху, де повітря може взагалі не знадобитися, скажімо, на висоті під стелею або в маловикористовуваному кутку. Сучасні системи вентиляції оснащуються автоматикою, що дозволяє змінювати продуктивність залежно від потреби: частотні перетворювачі на вентиляторах, датчики якості повітря (CO₂, летких речовин, температури, вологості). Завдяки цьому вентиляція працює не постійно на повну потужність, а підлаштовується під поточне навантаження. У години пік система забезпечує максимальний повітрообмін, а у перерви – зменшує його до мінімально допустимого. Така динамічна робота економить електроенергію на приводах вентиляторів і одночасно скорочує втрати тепла/холоду з повітрям.

Важливим показником ефективності вентиляції є коефіцієнт вентиляційної ефективності – наскільки добре подане свіже повітря змішується і доходить до робочої зони, витісняючи відпрацьоване. Якщо система спроектована грамотно, можна досягти того, що менший об'єм повітря забезпечить потрібну чистоту і температуру, ніж у випадку хаотичного повітрообміну. Наприклад, в дуже високих приміщеннях ефективно працює принцип стратифікованої вентиляції: прохолодніше свіже повітря подається внизу, а тепле забруднене збирається під стелею і видаляється. Таким чином,

нижня зона, де перебувають люди і обладнання, має необхідну якість повітря, а весь верхній об'єм не переміщується зайвий раз – отже, не потрібно нагрівати чи охолоджувати всю висоту. Це на практиці скорочує енерговитрати, бо вентиляція обслуговує тільки «корисний» простір. Інженерний аналіз різних схем повітрообміну (наприклад, змішувальної вентиляції з верхньою подачею проти витісняючої з нижньою подачею) демонструє, що правильна організація потоків може зменшити необхідну кратність повітрообміну без погіршення якості середовища. А зниження кратності прямо зменшує і теплові втрати, і витрати електроенергії.

Підсумовуючи, теплотехнічні характеристики огороджувальних конструкцій і ефективність вентиляції – взаємопов'язані складові енергоефективності промислової будівлі. Максимально теплоефективна оболонка (утеплена, герметична, без теплових містків) зменшує потребу в потужностях опалення та охолодження. Але щоб повною мірою реалізувати переваги такої оболонки, потрібна високоефективна система повітрообміну: вона повинна мінімізувати тепловтрати при вентиляції через рекуперацію, а також не перевитрачати повітря даремно, тобто бути точно збалансованою за потребами. Дослідження і досвід експлуатації доводять, що лише комплексний підхід – одночасне вдосконалення і огороджувальних конструкцій, і вентиляційних систем – дає найкращий результат. Якщо будівлю герметизувати без модернізації вентиляції, може постраждати мікроклімат або марно піде тепла енергія через необхідність часто відкривати отвори. Якщо ж поставити нову вентиляцію без утеплення стін – усе тепле повітря може так чи інакше виходити назовні через погані стіни. Тому розробник проекту повинен погоджено врахувати ці аспекти: баланс між тепловою ізоляцією та необхідним повітрообміном, оптимальні технології для кожного з них, щоб у результаті досягти мінімально можливих експлуатаційних енерговитрат. Саме практичним рекомендаціям щодо такого зниження витрат присвячено наступний підрозділ.

5.3 Розроблення практичних рекомендацій щодо зниження експлуатаційних енерговитрат

На основі проведеного аналізу споживання енергії та теплотехнічних особливостей промислових будівель можна сформулювати комплекс практичних рекомендацій, спрямованих на зниження експлуатаційних енерговитрат. Ці рекомендації охоплюють як архітектурно-конструктивні рішення (пасивні заходи енергоефективності), так і вдосконалення інженерних систем та організації експлуатації (активні заходи).

Важливо підкреслити, що максимального ефекту вдасться досягти при реалізації *цілісного підходу*: поєднання покращених властивостей будівельної оболонки, вискоелективного обладнання та систем керування, а також оптимізації режимів роботи будівлі. Нижче наведено ключові напрями, за якими слід впроваджувати енергоефективні рішення в сучасних промислових будівлях.

1. Удосконалення огорожувальних конструкцій (утеплення та усунення втрат). Першочерговим кроком є забезпечення високого рівня теплоізоляції всіх елементів будівлі. Рекомендується застосовувати конструкції, що перевищують мінімальні вимоги стандартів з енергоефективності – з певним запасом на майбутнє зростання вартості енергоносіїв. Практично це означає збільшену товщину утеплювача в стінах і на даху, використання матеріалів з низькою теплопровідністю.

На будівлях з металевим каркасом доцільно використовувати сендвіч-панелі заводського виготовлення з наповнювачем (мінеральна вата, пінополізоціанурат, пінополіуретан) достатньої товщини, або ж виконувати шар утеплення на місці з захисним облицюванням. Особливу увагу слід приділити даховим конструкціям, адже через стелю можуть відбуватися найбільші тепловтрати (тепле повітря піднімається вгору). Рекомендацією є застосування багатошарової покрівлі з безперервним шаром теплоізоляції, відсутністю містків холоду через кріплення (використання пластикових

телескопічних дюбелів або систем кріплення, що не проходять наскрізь утеплювач). Крім того, доцільно передбачати світлий або відбивний верхній шар покрівлі (так звану «холодну покрівлю») у спекотному кліматі – це зменшить поглинання сонячної радіації будівлею та навантаження на охолодження влітку.

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики різних матеріалів

Назва	Щільність, кг/ м ³	Теплопровідність, Вт/м·К
Сендвіч-панелі з утеплювачем із:		
- пінополістиролом,	10-25	0,042
- мінеральною ватою,	105-140	0,044
- пінополіуретаном	41	0,022
Фасадні термопанелі	40-70	0,025
Стінові блоки YTONG ENERGO	325	0,095
Керамічні термоблоки	35	0,038
Теплоблоки	140	0,038
Піноблоки	476-525	0,12
Шлакоблоки	750-1450	0,27-0,65
Тирсобетон	400-850	0,08-0,17

Друге завдання – усунути теплові містки. Практичні рекомендації включають: застосування термоізолюючих прокладок під опорні елементи каркасу; розрив термічного контуру там, де бетонні або металеві частини проходять зсередини назовні (наприклад, консольні випуски); ретельне утеплення перемичок, колон, зон стику стін з фундаментом; використання спеціальних термовставок у профілях вікон та дверей. Там, де повністю усунути тепловий міст неможливо (наприклад, вузли кріплення мостових кранів до колони), слід компенсувати його локальним підвищенням опору навколишніх ділянок – тобто трохи більше утеплити суміжні зони, щоб загальний тепловий потік залишався низьким.

Енергоефективні вікна та ворота. Для промислових будівель рекомендується мінімізувати непотрібні площі скління, не жертвуючи при цьому природним освітленням. Оптимальним рішенням є інтеграція стрічкових вікон чи світлових ліхтарів з трикамерними склопакетами або полікарбонатними блоками, які пропускають достатньо світла, але мають

високі теплозберігаючі властивості. Добре зарекомендували себе шедові ліхтарі північного освітлення – розташовані під кутом прозорі панелі, зорієнтовані на північ: вони рівномірно освітлюють цехи денним світлом, але майже не дають прямих сонячних променів, що зменшує нагрівання. У віконні рами слід встановлювати склопакети з енергозберігаючим напиленням (Low-E) для скорочення втрат тепла взимку. Великі прорізи, через які неминучі витоки тепла, варто оснастити рухомими утепленими жалюзі або ролетами, що закриваються на час, коли світло не потрібне (наприклад, вночі).

Для воріт і доків відвантаження критично важливо скоротити обмін повітря з довкіллям. Практична рекомендація – встановлення секційних або рулонних воріт швидкісного типу з електроприводом, які відчиняються і зачиняються максимально швидко, мінімізуючи час відкритого отвору. Такі ворота виготовляються з сендвіч-панелей або гнучкого полотна з теплоізоляцією, їх швидкодія може становити кілька секунд на цикл.

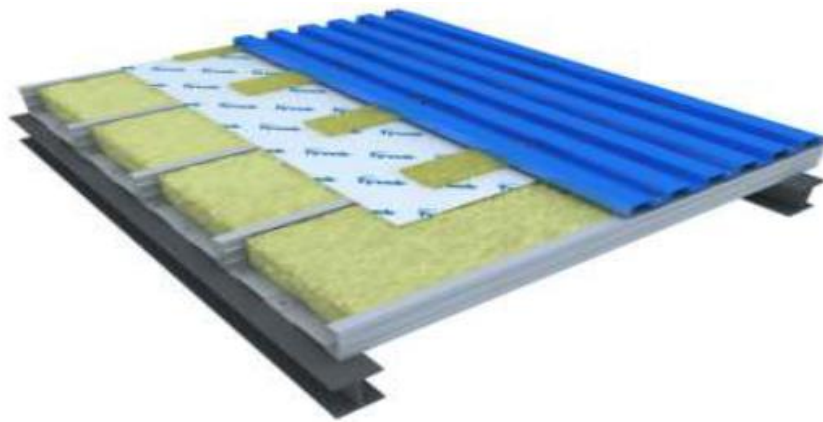


Рисунок 5.7 – Використання сендвіч-панелей

Додатково доцільно обладнати ворота повітряними завісами – пристроями, що створюють сильний вертикальний потік теплого (взимку) або прохолодного (влітку) повітря вздовж отвору при відкриванні, блокуючи проникнення зовнішнього повітря всередину. На вантажних доках досягається великий ефект за рахунок використання герметизаторів – м'яких „кишеней“ або рамок, до яких автофургон притискається кормою, забезпечуючи закритий

простір між кузовом і будівлею. Тоді під час завантаження фактично відсутній відкритий канал назовні – все відбувається всередині теплоізолюваного тамбура між складу і машиною.

2. Оптимізація систем опалення, охолодження та вентиляції. Інженерні системи, що відповідають за мікроклімат, мають великий потенціал для енергозбереження через впровадження сучасних технологій і управлінських стратегій. В опалювальних системах слід віддати перевагу високоефективному обладнанню: конденсаційним котлам (якщо використовується газове опалення), високопродуктивним тепловим насосам (повітряним або геотермальним, залежно від доступності джерел), або іншим генераторам теплоти з ККД, наближеним до максимального. Конденсаційні котли, наприклад, дозволяють отримати додатково 10–15% теплової енергії за рахунок використання прихованої теплоти водяної пари димових газів, але вони ефективні при низькотемпературних графіках опалення. Тому рекомендовано перейти на низькотемпературні системи опалення: збільшені площі нагрівальних приладів (калорифери, панельні обігрівачі) або застосування *променистого опалення*. Для промислових приміщень дуже раціонально використовувати інфрачервоні випромінювачі – газові або електричні, які обігрівають робочі зони без нагріву всього об'єму повітря. Вони можуть бути локально встановлені над робочими місцями чи зонами, забезпечуючи комфорт працівникам при тому, що загальна температура повітря може бути на кілька градусів нижчою (що економить енергію). Такий підхід особливо корисний у великих цехах, де немає потреби підтримувати +18...20 °С всюди, якщо більша частина простору – технологічні проходи чи зони збереження продукції.

Якщо в будівлі наявна система кондиціонування або охолодження, слід обирати чилери та холодильні машини з високим енергетичним рейтингом, інверторним керуванням компресорів та можливістю фрікулінгу (*free-cooling*). Режим *free-cooling* означає, що за сприятливих зовнішніх умов (наприклад, холодне зовнішнє повітря вночі) система охолодження використовує його

напрямую для охолодження приміщень або технологічних водяних контурів, без включення компресорів. У виробничих приміщеннях, де це дозволяє технологія, варто реалізувати нічне провітрювання в літній період: автоматичне відкривання люків або включення вентиляторів уночі для охолодження конструкцій і приміщень за рахунок холоднішого зовнішнього повітря. Охолоджені за ніч стіни й перекриття будуть наступного дня повільніше нагріватися, знижуючи пікове навантаження на систему кондиціонування. Такі рішення потребують узгодження з вимогами безпеки (можливість відкриття отворів, наявність сіток від комах тощо), але здатні помітно зменшити витрати електроенергії на кондиціонування.

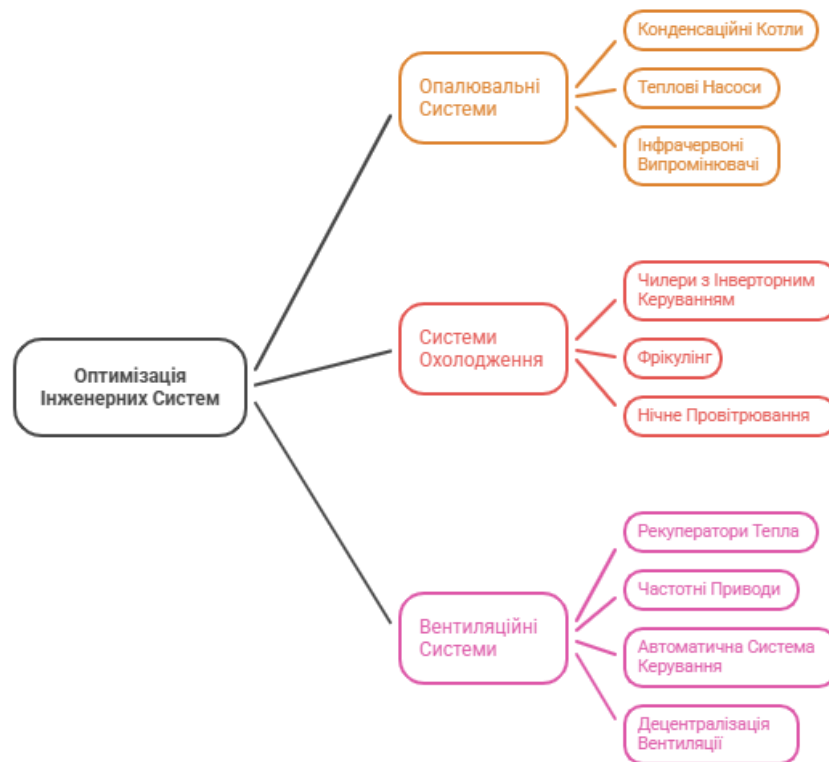


Рисунок 5.8 – Методологія оптимізації використання інженерних систем

Вентиляційні системи необхідно проектувати за принципом енергетичної збалансованості та керованості. Практичні рекомендації включають обов'язкове використання рекуператорів тепла у всіх системах припливно-витяжної вентиляції. Як зазначалося, рекуперація дозволяє

повертати більшу частину тепла з відпрацьованого повітря – тож вентиляційна установка має бути укомплектована якісним теплообмінником із високим ККД. Слід вибирати тип рекуператора відповідно до умов виробництва: вологі чи забруднені викиди краще обробляти через пластинчастий або гліколевий (проміжний контур) теплообмінник, щоб уникнути переносу забруднень у приплив; для чистіших повітряних потоків ефективні роторні рекуператори (вони ж регенератори), які можуть мати ККД по теплу до 80%. Якщо процеси виділяють не лише тепло, а й корисний потенціал вологи (наприклад, є потреба утилізувати не тільки теплову, а й холодильну енергію влітку), варто застосувати ентальпійні теплообмінники – вони здатні передавати не тільки тепло, а й вологу, зменшуючи витрати енергії на зволоження чи осушення припливного повітря.

Другий важливий момент – це регулювання продуктивності вентиляції. Устаткування повинно працювати рівно настільки, наскільки це потрібно в конкретний час. Для цього всі великі вентилятори доцільно оснащувати частотними приводами (інверторами), які дозволять змінювати швидкість обертання двигуна і, відповідно, повітряний потік. Разом з тим впроваджується автоматична система керування, що отримує сигнали від датчиків: датчиків температури, концентрації CO₂, наявності шкідливих газів чи пилу, датчиків присутності людей тощо. На основі цих даних автоматика збільшує або зменшує подачу повітря. Наприклад, під час технологічної перерви, коли в цеху мало працівників і обладнання не працює, витрата повітря може бути знижена до санітарного мінімуму – це радикально скорочує витрати тепла на підігрів цього повітря. Коли виробництво відновлюється – система плавно нарощує обсяги припливу/витяжки. Децентралізація вентиляції – ще одна рекомендація: замість однієї гігантської системи на весь цех краще використовувати кілька зональних систем, кожна з яких обслуговує свій сектор і може працювати незалежно.

Раціональне використання рециркуляції також сприяє енергозаощадженню. Якщо технологічний процес не виділяє небезпечних

забруднень, частину повітря після очищення можна повертати назад у приміщення, змішуючи з свіжим припливом.

Повна вентиляція 100% зовнішнім повітрям вимагається далеко не завжди – часто нормативи дозволяють до 70% рециркуляції (при умові контролю параметрів повітря). Це означає, що лише 30% повітря треба нагріти з нуля, а решта вже має потрібну температуру. Розробляючи системи вентиляції, інженери мають передбачити рециркуляційні контури з клапанами, щоб гнучко змінювати частку повернутого повітря залежно від якості повітря в приміщенні. Наприклад, зимового дня, коли всі показники в нормі, система може на 50% працювати в рециркуляції і тільки 50% подавати зовнішнього повітря – економія тепла очевидна. Але якщо трапиться викид забруднення чи зросте вологість – автоматика переведе установку у 100% зовнішній приплив для інтенсивного провітрювання. Головне – мати таку опцію, ніж постійно працювати на «повному газу» навіть тоді, коли немає потреби.

3. Енергоефективне освітлення та електрообладнання. Освітлення промислових приміщень, особливо великих цехів і складів, вносить помітний вклад у споживання електроенергії. Тому переходу на сучасні технології освітлення належить одне з провідних місць серед рекомендацій.

Насамперед, варто замінити застарілі лампи розжарювання та люмінесцентні світильники на світлодіодні (LED). Світлодіодне освітлення споживає в 2–3 рази менше електроенергії при тій самій освітленості, а термін служби LED-ламп набагато довший, що зменшує експлуатаційні витрати на заміну і обслуговування. Для високих промислових приміщень існують спеціальні LED-світильники для високих стель (High Bay LED), які ефективно освітлюють з великої висоти, мають спрямований світловий потік і можуть оснащуватися відбивачами для рівномірності. Крім заміни ламп, важливе значення має автоматизація освітлення: встановлення датчиків руху та присутності в зонах, де персонал буває періодично (складські коридори, підсобні приміщення), щоб світло не горіло там постійно. Також доцільно

впровадити системи керування освітленням за графіком та за рівнем природного освітлення. Наприклад, у світлий час доби інтелектуальна система через фотодатчики зменшуватиме яскравість ламп, якщо через вікна чи ліхтарі достатньо денного світла, і навпаки додаватиме освітленості ввечері. Практика показує, що такі системи daylight harvesting (збирання денного світла) можуть знизити споживання електрики на освітлення на 20–40% без шкоди для умов праці.



Рисунок 5.9 – Принципи підвищення енергоефективності промислових будівель

Не варто забувати і про раціональне використання природного освітлення при проектуванні. Вже згадувані шедові ліхтарі, світлопропускні

панелі в даху, вікна у верхній частині стін – усе це дозволяє в денний час значно зменшити або навіть вимкнути штучне освітлення. Рекомендація: розміщувати світлові прорізи таким чином, щоб світло проникало в глибину цеху, але при цьому не створювало відблисків на робочих місцях.

Наприклад, вузькі часто повторювані ліхтарі вздовж всього даху (характерні для промбудівель минулого) можна замінити на менш численні, але більші за площею модульні куполи з розсіювачами, які даватимуть більше світла з меншими втратами тепла (сучасні купольні ліхтарі – це теплі «склопакети» по суті, на відміну від старих одношарових).

Правильне поєднання пасивного і активного освітлення допомагає не тільки економити енергію, а й створювати комфортніше середовище для персоналу, що побічно впливає на продуктивність праці.

Промислові підприємства використовують багато електрообладнання – двигуни, компресори, насосні станції, конвеєри тощо.

Скорочення їх енергоспоживання теж впливає на загальні витрати будівлі. Тому серед рекомендацій – вибір енергоефективного обладнання (електродвигуни класу IE3 або IE4 з підвищеним ККД, компресори з регульованою продуктивністю, насоси з частотним регулюванням). Навіть якщо це більше стосується технологічного оснащення, ніж будівлі, проєктант інженерних систем має враховувати і закладати в проєкт саме економічні агрегати.

Наприклад, система водопостачання протипожежних спринклерів може працювати з частотним приводом, підтримуючи тиск безперервно, замість циклічного вмикання/вимикання насосів – це економить електроенергію і подовжує термін служби обладнання.

Освітлювальні щити, силові шафи варто оснащувати пристроями контролю енергоспоживання, щоби в режимі реального часу бачити, де витрачається найбільше і чи немає ненормованих втрат (наприклад, через перегрів або нештатний режим роботи двигуна).

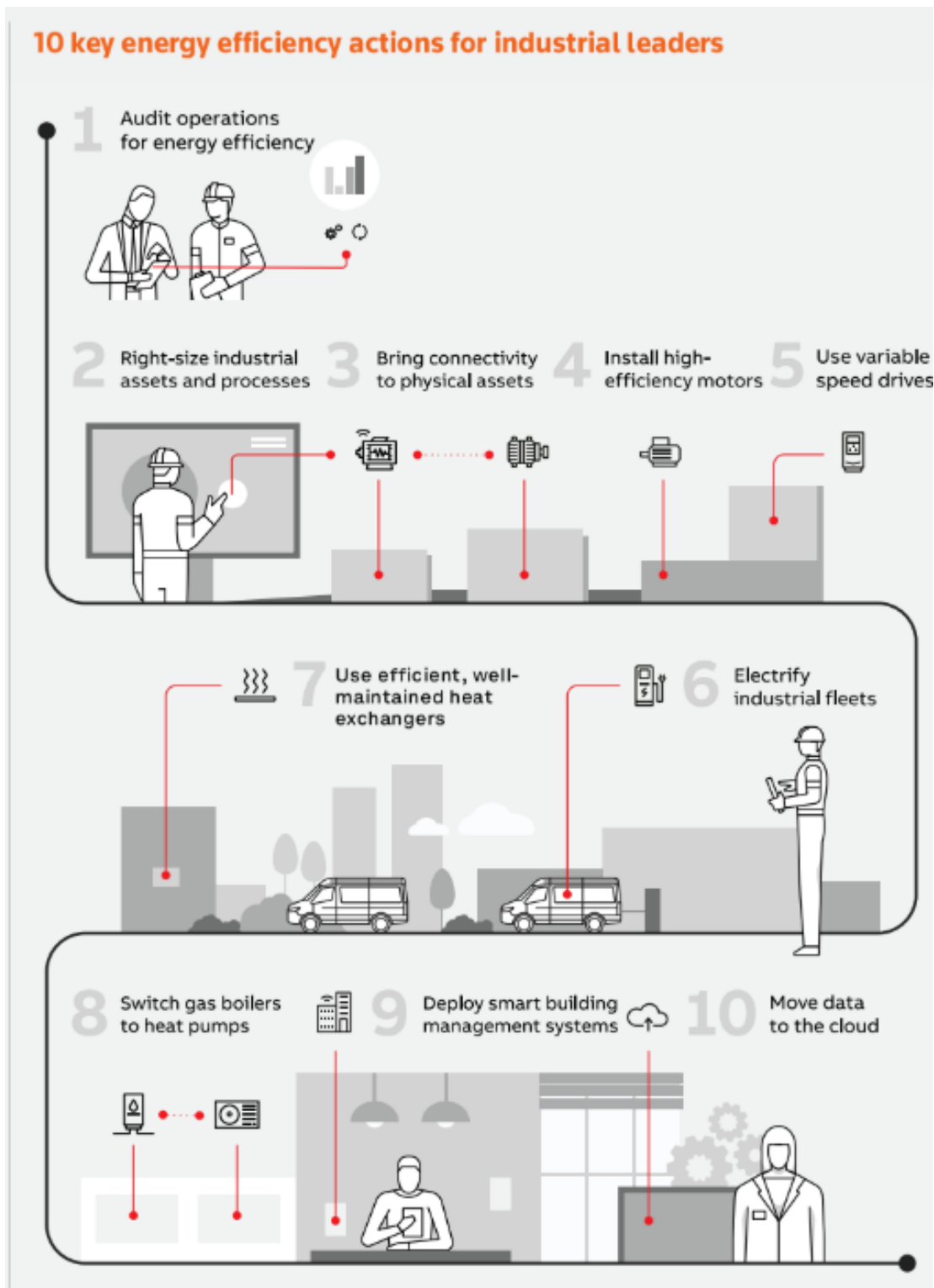


Рисунок 5.10 – 10 кроків до енергоефективності в промисловості

4. Використання відновлюваних та утилізація вторинних енергоресурсів. Сучасний підхід до енергоефективності виходить за рамки лише економії – він передбачає також власне виробництво енергії з відновлюваних джерел та повторне використання енергії, яка раніше

втрачалася. Промислові будівлі часто мають значні площі дахів, відкриті простори на території, а також постійні невикористані теплові потоки – усе це можна задіяти.

Однією з найпростіших і найефективніших рекомендацій є встановлення сонячних фотоелектричних панелей на даху або фасадах будівель.

Великий плоский дах цеху – ідеальний майданчик для сонячної електростанції: там зазвичай немає затінення, зручно монтувати панелі, можна покрити значну площу. Вироблена електроенергія буде споживатися самою будівлею (на освітлення, роботу обладнання, обігрів тощо), що зменшить відбір з мережі і рахунки за електрику.

Для промислових об'єктів з постійним навантаженням сонячна генерація особливо вигідна, оскільки вся вироблена енергія одразу йде в споживання (немає простою панелей, як це буває на об'єктах з перервами).

Якщо ж у вихідні або святкові дні утворюється надлишок виробітку, його можна передати в мережу або заряджати акумуляторні системи для подальшого використання в години пікового навантаження. Окрім традиційних панелей, вартим уваги є інтегровані фотоелектричні елементи – наприклад, світлопрозорі фасадні модулі, які генерують електрику, або гнучкі PV-плівки для криволінійних дахів ангарів.

Іншим відновлюваним джерелом, яке може знайти застосування на промисловому об'єкті, є геотермальна енергія. Якщо дозволяє територія, можна передбачити теплові насоси з ґрунтовими зондами або колекторами. Вони особливо ефективні, якщо будівля потребує і опалення взимку, і охолодження влітку – тепловий насос може працювати в реверсивному режимі, забезпечуючи обидві функції. Геотермальні системи дозволяють отримувати 3–4 кВт тепла/холоду з кожного спожитого кіловата електроенергії, тому це дуже економний варіант експлуатації. Хоча капітальні витрати на буріння свердловин або укладання горизонтальних колекторів значні, у довгостроковій перспективі (особливо при зростанні цін на

енергоносії) вони окупаються. Для промислового підприємства можна також розглянути використання тепла ґрунтових вод (якщо є артезіанські свердловини) або близьких водоєм як джерела/стоку тепла для теплових насосів. Взагалі, за наявності великих рівномірних потреб в теплі/холоді, відновлювані джерела дозволяють стабілізувати витрати і менше залежати від зовнішніх тарифів.

Відновлювані джерела можуть забезпечувати не лише електроенергію чи тепло, а й, наприклад, гаряче водопостачання. Якщо на підприємстві є значне споживання гарячої води (душові для персоналу, технологічні ванни), варто встановити сонячні колектори на даху, які в теплу пору року підігріватимуть воду від сонця. Це зменшить навантаження на котельню або електричні нагрівачі.

Аналогічно, якщо є потреба в пару низького тиску і є біомаса або відходи, можна поставити біомасовий котел чи когенераційну установку, яка спалюватиме відходи й генеруватиме теплову та електричну енергію.

Щодо утилізації вторинних енергоресурсів – на промислових підприємствах це, як правило, означає використання надлишкового тепла технологічних процесів на потреби опалення чи гарячого водопостачання. Практична рекомендація: проаналізувати виробництво на наявність постійних потоків відпрацьованої теплоти (нагріті газы, пари, охолоджуюча вода, що виходить гарячою з обладнання).

Часто ця енергія просто викидається в довкілля через градирні чи труби. Але її можна перехопити: встановити теплообмінники-утилізатори на вихідних потоках. Наприклад, гарячі вихлопні газы від промислової печі можна пустити через котел-утилізатор і генерувати пару або гарячу воду для опалення цехів узимку.

Або теплова енергія компресорної станції (відомо, що компресори виділяють багато тепла при стисканні повітря) може бути відведена системою вентиляції через рекуператор на підігрів того ж припливного повітря. Ці заходи дозволяють майже безкоштовно отримувати тепло, адже воно вже було

«вироблене» технологією – треба тільки спрямувати його в корисне русло. При проєктуванні нових об’єктів слід передбачати таку інтеграцію: технолог і енергетик підприємства мають співпрацювати, щоб поєднати системи – тоді виробнича лінія стане постачальником енергії для будівлі.

5. Системи керування, моніторингу та організація експлуатації. Навіть найкраще обладнання може працювати неефективно без належного управління. Тому важливою рекомендацією є впровадження інтелектуальної системи керування будівлею (BMS – Building Management System).

Така система об’єднує всі інженерні підсистеми (опалення, вентиляцію, кондиціонування, освітлення, силове навантаження) під централізованим контролем. Вона в режимі реального часу збирає показники датчиків (температур, тисків, витрат, електроспоживання), дає змогу оператору або автоматично оптимізує режими роботи.

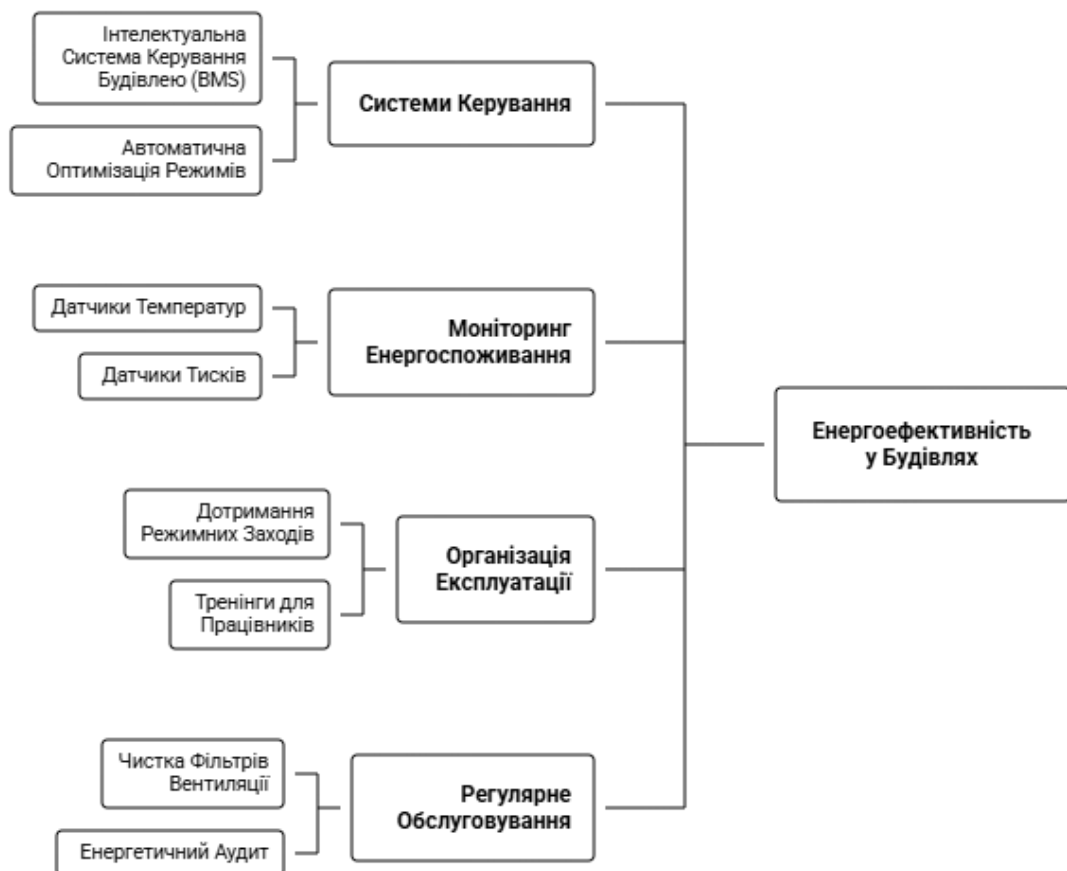


Рисунок 5.11 – Використання систем контролю та моніторингу за енергоефективністю

Наприклад, BMS може одночасно стежити, щоб не працюли одночасно система опалення і система охолодження (уникнення конфлікту, коли взимку може перегріватися окреме приміщення і хтось вмикає кондиціонер замість зменшити опалення – автоматизація це попередить).

Або ввечері система автоматично приглушить вентиляцію і опалення, коли люди залишили робочі місця, але підтримуватиме черговий мінімум, щоби вранці швидко відновити комфорт. Моніторинг енергоспоживання через BMS дозволяє виявляти відхилення: якщо якась установка раптом почала споживати більше електрики, це сигнал про можливу несправність (наприклад, підшипник вентилятора дає підвищений опір).

Таким чином, поєднується економія з підтриманням надійності – проблеми вирішуються до того, як призвели до втрат енергії або аварій.

Організація експлуатації також має бути спрямована на енергоефективність. Це означає, що персонал має дотримуватися певних режимних заходів: вчасно закривати ворота і двері, не залишати без потреби ввімкненим обладнання, використовувати технологічне устаткування в оптимальних режимах.

Для цього корисно проводити тренінги та навчання для працівників, роз'яснювати їм важливість енергозбереження на робочому місці. Енергоефективна будівля – це частково і питання культури експлуатації. Наприклад, оператор крану може не відчиняти люк у даху «щоб провітрити», коли працює система вентиляції; або водій навантажувача не триматиме ворота відкритими довше, ніж треба. Такі дрібниці в сумі дають відчутний ефект, якщо контролювати їх систематично.

Обов'язковим має стати регулярне обслуговування інженерних систем з огляду на енергоефективність. Засмічені фільтри вентиляції підвищують опір і змушують вентилятори споживати більше електроенергії – тому чистити і замінювати їх треба згідно графіка, а не після того, як «вже ледве тягне». Наладка пальників котлів, перевірка налаштувань частотних перетворювачів, усування підтікання в теплотрасах – усе це входить до енергоаудиту під час

експлуатації. Рекомендується проводити хоча б раз на рік енергетичний аудит або енергомоніторинг будівлі: знімати тепловізором огороження на предмет нових теплових втрат, перевіряти калібрування датчиків і приладів обліку, аналізувати профіль навантаження за лічильниками.

На основі цих даних можна скоригувати режими роботи або виявити, наприклад, що певне обладнання доцільно замінити на сучасніше через невідповідність по витраті енергії.

6. Планувальні та архітектурні рішення для енергоефективності. Ще на стадії проектування варто врахувати декілька моментів, які не потребують складних технологій, але помітно впливають на майбутні енерговитрати. Зокрема, компактність форми будівлі: відношення площі огорожень до об'єму має бути якомога меншим.

Іншими словами, промислова будівля з розгалуженою, складною формою матиме більше стін на одиницю об'єму і більше втрат, ніж компактна, близька до куба або циліндра форма. Тому за можливості слід обирати конфігурацію цехів і складів без зайвих виступів, з мінімально потрібною висотою. Також орієнтація будівлі по сторонах світу може дати переваги: фасади з великою площею скління краще розташовувати на північ або схід (щоб уникнути перегріву від західного чи південного сонця), а глухі утеплені стіни – на північний напрямок, що найхолодніший.

Вітрове навантаження – якщо основні холодні вітри дмуть з певного боку, там бажано не мати зайвих отворів і забезпечити додатковий захист (наприклад, зробити з того боку мінімум воріт, або передбачити екрануючі насадження/паркани, що розсіюють вітер).

Архітектурні рішення включають і створення *буферних зон*: наприклад, прибудова побутових приміщень (офіси, роздягальні) до основного цеху з зовнішнього боку може слугувати додатковим теплозахистом для виробничого об'єму. Ці опалювані допоміжні приміщення стануть проміжним шаром між зовнішнім повітрям і холодним цехом, знижуючи втрати тепла цехом. Аналогічно, тамбури там, де заходять люди, шлюзові кімнати перед

чистими виробництвами – все це елементи архітектури, що підтримують енергоефективність.

Загальне узагальнення рекомендацій: Усебічне впровадження описаних заходів дозволяє значно – на десятки відсотків – знизити експлуатаційні витрати енергії в промислових будівлях. Наприклад, комплексна термомодернізація огорожень у поєднанні з рекуперацією тепла вентиляції часто дає економію теплової енергії 30–50% порівняно зі станом «як було».

Перехід на світлодіодне освітлення та сучасні електроприводи знижує електроспоживання на освітлення і допоміжні потреби на 20–30%. Використання власної генерації (сонячних панелей, утилізації тепла) може покрити істотну частку енергопотреб і зменшити залежність від зовнішніх джерел. Важливо, що всі ці заходи взаємно доповнюють один одного: результат кожного підсилюється іншими.

Енергоефективна оболонка створює умови для максимальної користі від рекуперації, а автоматизація гарантує, що ні один кіловат не витратиться дарма.

При проектуванні сучасних промислових будівель енергоефективність має стати одним з головних пріоритетів, поряд з технологічністю та безпекою. Інвестиції у енергоефективні рішення зазвичай окупаються за рахунок економії енергії протягом кількох років експлуатації, після чого кожен рік приносить чисту фінансову вигоду підприємству. Окрім того, зниження енерговитрат сприяє зменшенню викидів парникових газів і поліпшенню екологічних показників виробництва – що важливо в контексті сучасних вимог сталого розвитку.

Практичні рекомендації, наведені вище, охоплюють широке коло заходів – від теплоізоляції стін до розумного керування обладнанням. Їх реалізація дозволить проектувальникам створювати промислові об'єкти нового покоління: такі, що споживають мінімально необхідну кількість енергії, не втрачаючи при цьому функціональності, комфорту і

продуктивності. У підсумку це забезпечує конкурентні переваги підприємству через менші витрати на енергію, підвищує надійність енергопостачання і сприяє довготривалій експлуатації будівель без деградації їх параметрів. Таким чином, енергоефективний підхід до проектування промислових будівель – це не разовий захід, а комплексна стратегія, що повинна реалізовуватися на всіх етапах: від концепції та вибору матеріалів до монтажу обладнання і налагодження режимів роботи.

ВИСНОВКИ

1. У межах проєкту будівництва одноповерхової виробничої будівлі для технічного обслуговування та ремонту вантажних автомобілів опрацьовано всі основні розділи: архітектурно-будівельний, розрахунково-конструкторський, організаційно-технологічний, економічний, охорони праці та науково-дослідницький.

2. Науково-дослідницька частина спрямована на аналіз енергоспоживання промислових будівель та дослідження теплотехнічних властивостей огорожувальних конструкцій. У розрахунково-конструкторському розділі виконано повний інженерний розрахунок попередньо напруженої ребристої плити покриття, включно зі збором навантажень, визначенням зусиль, перевіркою міцності нормальних і похилих перерізів та підбором арматури. Побудовано будівельний генеральний план. Комплекс організаційних рішень забезпечує ритмічність, безпечність та безперервність виконання будівельно-монтажних робіт.

3. Науково-дослідницька частина роботи підтвердила важливість застосування теплотехнічного аналізу та дослідження систем повітрообміну для підвищення енергоефективності промислових споруд. Виконано оцінювання теплових характеристик покриття та стін, а також аналіз ефективності вентиляційних систем.

4. Результати виконаної роботи підтверджують, що комплексна інтеграція архітектурних, конструктивних, організаційно-технологічних та енерготехнічних рішень є визначальним фактором підвищення ефективності та надійності промислових будівель. Проведений аналіз доводить, що системний підхід до проєктування та оцінювання експлуатаційних характеристик дає змогу формувати оптимальні інженерні рішення та забезпечувати стабільні показники функціонування об'єкта впродовж усього життєвого циклу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ Б А.2.4-6:2009 Правила виконання робочої документації генеральних планів, – 30с.
2. ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», К.: Мінрегіон України, 2017, – 47с.
3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія [Чинний від 01.11.2011], 80с. (Інформація та документація).
4. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 01.09.2022]. Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП «ДНДІБК»), 23с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель [Чинний від 01.03.2023]. ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК), 60с. (Інформація та документація).
6. ДСТУ EN 14351-1:2020 Вікна та двері. Вимоги. Частина 1. Вікна та зовнішні двері (EN 14351-1:2006 + A2:2016, IDT)
7. ДСТУ 8855:2019 Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності) [Чинний від 01.12.2019]. Технічний комітет стандартизації «Експертиза містобудівної та проектної документації на будівництво» (ТК 319), 19с. (Інформація та документація).
8. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Залізобетонні та кам'яні конструкції» (для слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.06010101 – «Промислове та цивільне будівництво») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова; уклад.: Є. С. Сєдишев. – Х.: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2013. – 50 с.
9. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011, 71с.

10. Методичні вказівки до виконання з дисципліни «Залізобетонні та кам'яні конструкції». Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Є. Г. Стоянов, Н. О. Псурцева. – Х.: ХНУМГ, 2014. – 35 с.

11. Конспект лекцій з курсу «Проектування залізобетонних конструкцій» (для студентів 4 і 5 курсів всіх форм навчання напряму підготовки 6.060101 / Є. Г. Стоянов, Н. О. Псурцева; Харків. НУ міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 105с.

12. ДСТУ 3760:2019 Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови, 28с.

13. Організація будівництва/ С.А. Ушацький, Ю.П. Шейко, Г.М. Тригер та ін.; За редакцією С.А. Ушацького. 0-64 Підручник. – К.: Кондор, 2007. – 521 с.

14. Організація будівельного виробництва: навчальний посібник / А. М. Дорош. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 255 с.

15. Система проектної документації для будівництва. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів: ДСТУ Б В.1.2-3:2006. – [Чинний від 1 січня 2007]. – К. : Держстандарт України, 2007. – 14 с. – (Національні стандарти України).

16. ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва, 62с.

17. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», К.: Мінрегіон України, 2016. – 66с.

18. ДСТУ Б В.2.8-43:2011 Огородження інвентарних будівельних площ і ділянок виконання будівельно-монтажних робіт. Технічні умови (ГОСТ 23407-78, MOD), К.: Мінрегіон України, 2012. – 12с.

19. Кошторисні норми України. Настанова з визначення вартості будівництва, 57с.

20. Конспект лекцій дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі», змістовний модуль «Цивільний захист», для студентів усіх спеціальностей та всіх форм навчання / Укл.: М. О. Журавель – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка». Каф. ОП і НС, 2020 р. – 49 с.

21. Залізобетонні конструкції. Методичні рекомендації до практичних занять для студентів напряму підготовки 6.060101 Будівництво/ В.Є. Волкова. – Д.: ДВНЗ Національний гірничий університет, 2013. – 25 с
22. ДБН В.2.2-5:2023 Захисні споруди цивільного захисту, 131 с.
23. ДСТУ Б А.3.2-13:2011 Система стандартів безпеки праці. Будівництво. Електробезпечність. Загальні вимоги, К.: Держбуд України, 2012. – 14с.
24. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення», К.: Мінрегіон України, 2018. – 137с.
25. ДСТУ Б А.3.2-15:2011 «Норми освітлення будівельних майданчиків (ГОСТ 12.1.046-85, MOD)», К.: Мінрегіон України, 2012. – 31с.
26. ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека у будівництві», К.: Держбуд України, 2012. – 202с.
27. Конспект лекцій з курсу «Безпека праці в будівництві» / Заїченко В. І // 2014 – 97с.
28. ДСТУ 2293:2014 «Охорона праці. Термини и визначення основних понять», Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці, 2014, 13с.
29. Охорона праці в будівництві: підручник / Сухачов О.А. // 2013 – с. 229 – 232.
30. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження та впливи: ДБН В.1.2-2:2006.
31. ДСТУ EN ISO 12100:2016 «Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризиків та зменшення ризиків», ДП «УкрНДНЦ», 2016, 110с.
32. Kariuk, A., Mishchenko, R., Pents, V., & Shchepak, V. (2019). Енергоефективність будівель у країнах Євросоюзу та Україні. Збірник наукових праць Галузеве машинобудування будівництво, 1(52), 185–190. <https://doi.org/10.26906/znp.2019.52.1695>
33. Іваненко Д. С. Сучасні теоретичні та практичні заходи підвищення енергоефективності промислових будівель у м. Запоріжжя / Д. С. Іваненко, О.

С. Іщенко, О. М. Назаренко // *Металознавство та термічна обробка металів*. – 2021. – № 1(92). – С. 21-29.

34. Арутюнян, І.А., Жамілов, О.Д., & Веремій, Г.Є. (2023). Енергоефективна політика в цивільному будівництві: можливості та перспективи застосування. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, (23), 17–27. <https://doi.org/10.15802/bttrp2023/281075>

35. Череп, О., Осмаковська, К., Лищенко, О., & Бойко, О. (2023). Проблематика енергоефективності в Україні та міжнародний досвід впровадження енергоефективності в країнах ЄС. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*, 322(5), 216-219. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-322-5-36>

36. Дудар, І.Н. і Риндюк, С.В. 2017. Енергоефективні матеріали та конструкції для теплового захисту будівель і споруд. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 23, 2 (Лис 2017).

37. Козик, В., & Марко, О. (2025). Організаційні засади формування енергоефективності об'єктів житлового будівництва. *Сталий розвиток економіки*, (4(51), 435-440. <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-51-62>

38. Енергоефективна компетентність фахівця будівельної галузі: аналіз вітчизняних та зарубіжних досліджень. (2025). *Інноваційна професійна освіта*, 1(22), 266-275. <https://doi.org/10.32835/2786-619X.2025.1.22.266-275>