

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О.М. БЕКЕТОВА**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
БУДІВНИЦТВА, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

Кафедра будівельних конструкцій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

БАГАТОПОВЕРХОВИЙ ЖИТЛОВИЙ БУДИНОК У М. ПОЛТАВА

Розробив: студент III курсу, групи ПЦБ 2023-2у
Спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
ОПП «Промислове та цивільне будівництво»

Гнатюк Олександр Олександрович

Керівник: канд. техн. наук, доцент Бутенко С.В.

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Рюмін В.В.

2026 рік

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О.М. БЕКЕТОВА**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
БУДІВНИЦТВА, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри БК

 доц. Спіранде К.В.

« 01 » червня 2026 року

З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

ГНАТЮКУ ОЛЕКСАНДРУ ОЛЕКСАНДРОВИЧУ

Спеціальність 192 – Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма Промислове та цивільне будівництво
Тема кваліфікаційної роботи: **Багатоповерховий житловий будинок у м. Полтава**

затверджена наказом ректора ХНУМГ від « 26 » травня 2026 р. № 447-03

Термін подання завершеної роботи на кафедру « 15 » червня 2026 р.

Вихідні дані до кваліфікаційної роботи інженерно-геологічні умови, основні вимоги до несучих та огорожувальних конструкцій будівлі, архітектурно-планувальне рішення об'єкту.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): архітектурно-будівельна частина, розрахунково-конструктивна частина, технологічні рішення та організація будівництва, розділ охорони праці.

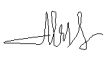
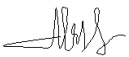
Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

- архітектурно-будівельна частина: архітектурно-конструктивне рішення об'єкту будівництва

- розрахунково-конструктивна частина: конструктивне рішення фундаментів, конструктивне рішення несучих конструкцій будівлі

- технологічні рішення та організація будівництва: технологічна карта на зведення цегляної кладки

КОНСУЛЬТАНТИ РОЗДІЛІВ РОБОТИ

Розділ		Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
			завдання видав	завдання прийняв
1. Архітектурно-будівельна частина		Завальний О.В., професор		
2. Розрахунково-конструктивна частина	Розрахунок підземної частини об'єкту	Александрович В.А., доцент		
	Розрахунок надземної частини об'єкту	Бутенко С.В., доцент		
3. Технологічні рішення та організація будівництва		Ватуля Г.Л., професор		
4. Охорона праці		Косенко Н. О., доцент		
Нормоконтроль		Пустовойтова О.М., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Архітектурно-будівельна частина	02.06-04.06.2026	виконано
2.	Розрахунково-конструктивна частина	05.06-12.06.2026	виконано
3.	Технологічні рішення та організація будівництва	13.06-15.06.2026	виконано
4.	Охорона праці	14.06-15.06.2026	виконано

Керівник кваліфікаційної роботи



к.т.н., доц. Бутенко С.В.

Завдання прийняв до виконання



Гнатюк О.О.

Дата видачі завдання « 01 » червня 2026 р.

ЗМІСТ

Розділ 1 Архітектурно-будівельна частина	6
1.1 Вихідні дані.....	6
1.2 Генеральний план забудови	6
1.2.3 Об'ємно-планувальне рішення будівлі.....	7
1.2.4 Архітектурно-конструктивне рішення.....	8
1.3 Теплотехнічний розрахунок огорожувальної конструкції	11
Розділ 2 Розрахунково-конструктивна частина	13
2.1 Розрахунок підземної частини об'єкту	13
2.1.1 Аналіз інженерно-геологічних умов	13
2.1.2 Збір навантажень	15
2.1.3 Вибір глибини закладання ростверку і довжини палі	17
2.1.4 Розрахунок паль.....	17
2.1.4.1 Визначення несучої здатності палі.....	17
2.1.4.2 Розрахунок основи пального фундаменту за деформаціями	20
2.1.5 Розрахунок осідання умовного фундаменту	22
2.2 Розрахунок надземної частини об'єкту	26
2.2.1 Компонування перекриття	27
2.2.2 Розрахунок багатопустотної попередньо напруженої плити за першою групою граничних станів.....	28
2.2.2.1 Розрахунок міцності нормального перерізу	29
2.2.3 Розрахунок багатопустотної плити за другою групою граничних станів.....	33
2.2.3.1 Геометричні характеристики бетонного та приведенного перерізів	33
2.2.3.2 Попереднє напруження та втрати напружень в арматурі	36
2.2.3.3 Перевірка несучої здатності багатопустотної попередньо напруженої плити	37
2.2.3.4 Розрахунок багатопустотної плити на утворення тріщин	38
2.2.3.5 Розрахунок за розкриттям тріщин	41
2.2.3.6 Перевірка прогинів розрахунком.....	42
Розділ 3 Технологічні рішення та організація будівництва	44
3.1 Підготовка до будівництва	44
3.2 Вибір організаційно-технологічної схеми будівництва	45
3.3 Визначення обсягів робіт	47
3.4 Методи виконання робіт.....	49
3.5 Вибір будівельних машин і механізмів.....	50
3.5.1 Вибір монтажного крану	50
3.5.2 Вибір машин і механізмів.....	51
3.6 Технологічна карта.....	51
3.6.1 Загальні відомості та умови виконання	52
3.6.2 Технологія і організація ведення технологічного процесу.....	52
3.6.3 Вибір основних механізмів, інструментів та пристроїв.....	53
3.6.4 Вимоги до якості робіт	54
3.6.5 Охорона праці при виконанні кам'яних робіт.....	55
Розділ 4 Охорона праці.....	57

4.1 Забезпечення охорони праці на законодавчому рівні	57
4.2 Аналіз умов праці на будівництві та виявлення потенційних небезпек	59
4.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті проектування.....	61
4.4 Розробка організаційно-технічних, архітектурно-планувальних заходів, спрямованих на покращення умов праці на об'єкті проектування.....	64
4.5 Висновки	65
Перелік джерел посилання	67

Розділ 1 Архітектурно-будівельна частина

1.1 Вихідні дані

Об'єктом проєктування є 16-поверховий 84-квартирний житловий будинок.

– Місце розташування: м. Полтава, Кліматичний район – І.

– Максимальна кількість опадів за добу – 106 мм; річна сума опадів – 515 мм.

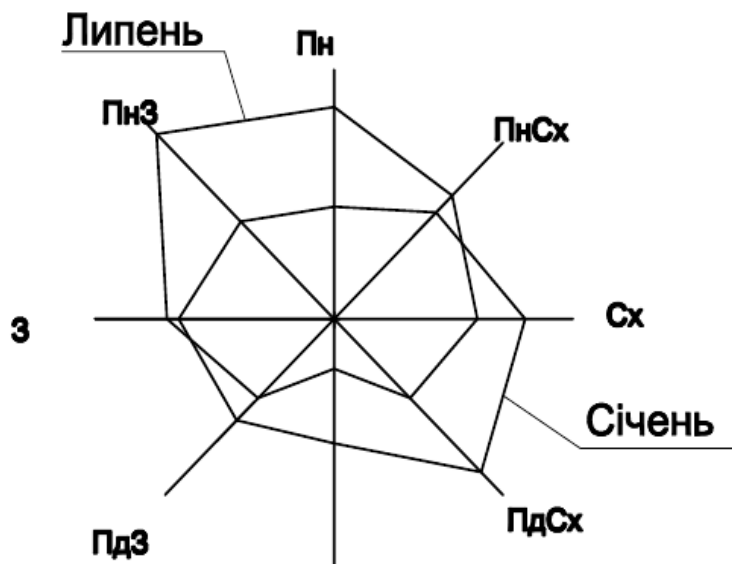
– Температура найбільш холодних днів – 28 °С; найбільш холодної п'ятиденки – 23 °С.

– Нормативна глибина сезонного промерзання ґрунтів – 1,1 м.

– Снігове навантаження – 1450 Н/м²; вітрове навантаження – 470 Н/м².

Таблиця 1.1.1 Середня швидкість вітру за напрямком

Місяць	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
Січень	9	12	16	17	10	12	13	11
Липень	17	14	12	9	4	9	14	21



1.2 Генеральний план забудови

Основні рішення, що стосуються забудови території приймалися з урахуванням положень ДБН Б.2.2-12:2019 [1]. Ділянка будівництва знаходиться в м. Полтава і має розміри 34,6 × 27,6 м. Рельєф місцевості характеризується

ухилом з півдня на північ. Вертикальне планування вирішене з відведенням поверхневих вод від будівлі в існуючу мережу ливневої каналізації. Усі інженерні комунікації прокладаються підземним способом; їх джерелом є міські мережі, розташовані поблизу ділянки.

Запроектована мережа проїздів забезпечує вільне пересування автотранспорту та безперешкодний під'їзд пожежних машин. Покриття внутрішньоквартальних шляхів і пішохідних доріжок – асфальтобетон; покриття під'їздів до входів – тротуарна плитка. Ширина пішохідних доріжок – 3 м, внутрішньоквартальних під'їздів – 6 м.

Вільна від забудови та доріг частина ділянки озеленюється й упорядковується. Озеленення формується декоративними газонами, клумбами та насадженнями листяних дерев і чагарників. Передбачено ігрові майданчики, зони відпочинку та автостоянку. Автопроїзди відокремлюються від житлової зони рядовими зеленими насадженнями.

Будівля зводиться у житловому районі в оточенні багатоповерхових житлових будинків, дитячої лікарні, закладів торгівлі та культурно-побутового обслуговування. Зручне транспортне сполучення – об'єкт розміщений поруч з транспортними розв'язками.

Таблиця 1.1.2 ТЕП генерального плану

№	Найменування	Одиниця	Значення
1	Площа території	га	0.45280
2	Площа забудови	га	0,14150
3	Коефіцієнт щільності забудови	%	31,0
4	Площа озеленення	га	0,14130
5	Коефіцієнт озеленення	%	31,0
6	Площа асфальтобетонних покриттів	м²	1700,0
7	Коефіцієнт використання території	%	73,0

1.2.3 Об'ємно-планувальне рішення будівлі

Планувальна організація будинку розроблена відповідно до сучасних вимог до комфортного житла [2] з максимальним використанням корисної площі. Перші два поверхи є нежитловими: на 1-му та 2-му поверхах розміщені торгово-офісні та соціально-побутові приміщення з окремими входами.

Запроектований 16-поверховий 84-квартирний житловий будинок має прямокутну форму (з двома баштами), розміри в осях – $34,6 \times 27,6$ м. Висота поверху – 2,7 м. Вертикальний транспорт забезпечується трьома швидкісними ліфтами (один з них вантажний) і двома сходовими клітками.

На першому поверсі розміщено два магазини загальною площею $266,12 \text{ м}^2$ та $168,97 \text{ м}^2$. Другий поверх зайнятий офісними приміщеннями на 50 робочих місць із загальною площею $862,14 \text{ м}^2$.

З 3-го по 16-й поверх розташовані дво-, три- і чотирікімнатні квартири – по 6 квартир на кожному поверсі:

- 4-кімнатні – 14 шт., площа однієї квартири – $166,70 \text{ м}^2$;
- 3-кімнатні – 14 шт., площа – $134,35 \text{ м}^2$;
- 3-кімнатні – 14 шт., площа – $106,67 \text{ м}^2$;
- 2-кімнатні – 14 шт., площа – $82,35 \text{ м}^2$;
- 2-кімнатні – 14 шт., площа – $73,86 \text{ м}^2$;
- 2-кімнатні – 14 шт., площа – $86,20 \text{ м}^2$.

На технічному поверсі розміщено інженерне обладнання: вузли введення комунікацій, електрощитова та вентиляційні установки. Структурне планування допускає об'єднання суміжних квартир для формування елітних апартаментів з індивідуальним набором приміщень.

Вихід на дах і до ліфтового обладнання передбачено з сходових кліток. Евакуаційними шляхами при пожежі слугують сходові клітки, відокремлені від коридорів і холу. Димовидалення забезпечується вентиляційними прорізами в покрівлі та вмонтованими в ліфтову шахту електровентиляторам, що вмикаються автоматично при виникненні пожежі.

Таблиця 1.1.3 Техніко-економічні показники будинку

№	Найменування	Одиниця	Значення
1	Площа забудови	м^2	1415,0
2	Будівельний об'єм	м^3	925720,
3	Житлова площа	м^2	9600,0

1.2.4 Архітектурно-конструктивне рішення

Конструктивна система – безкаркасна. Несучими елементами є зовнішні та внутрішні стіни. Просторова стійкість, геометрична незмінність і сприйняття горизонтальних зусиль забезпечуються жорсткими дисками перекриттів зі збірного залізобетону, монолітних поясів і несучих стін. За ДБН В.1.1.7–2002 будівля відноситься до I ступеня вогнестійкості.

Фундамент

Основою для фундаментів слугують природні ґрунти: 1-й шар – суглинок сірий, 2-й – суглинок коричневий, 3-й – пісок, 4-й – глина. Тип фундаменту – буронабивні залізобетонні палі діаметром 600 мм під монолітним залізобетонним ростверком.

Несучі та огорожувальні конструкції

Зовнішні стіни зведено з силікатної цегли марки М200 на цементно-піщаному розчині марки М200, товщиною 770,0 мм; прив'язка – 130,0 мм. Міжквартирні стіни – силікатна модульна цегла товщиною 250,0 мм на розчині М75. Перегородки – силікатна цегла марки М100 товщиною 120 мм на розчині М75; у вологих приміщеннях – керамічна цегла тих самих марок. Конструкції відповідають ДБН Д.2.4-56:2012.

Перекриття

Застосовуються збірні залізобетонні пустотні плити товщиною 220,0 мм (за ДБН Д.2.4-4:2012 [5]) та монолітні залізобетонні плити.

Сходи

Сходи виконані зі збірних залізобетонних елементів по металевих косоурах з ухилом 1:2 [6]. Зі сходових кліток передбачено вихід на дах. Сходові клітки мають природне і штучне освітлення через вікна. Усі двері відкриваються у бік виходу згідно з вимогами пожежної безпеки. Огородження маршів — металеві поручні.

Вікна та двері

Вікна є металопластиковими з подвійним склопакетом, виготовлені за індивідуальним замовленням. Огородження балконів – із тонованого вітринного скла. Двері в будинку – дерев'яні та металеві.

Підлоги

Конструкції підлог визначаються функціональним призначенням приміщень. У санвузлах, кухнях, коридорах і коморах застосовується керамічна плитка на цементно-піщаній стяжці з клеєм CERESIT. У спальнях, вітальнях і прихожих — ламінат на аналогічній основі. В офісних приміщеннях укладається лінолеум.

Покрівля

Парапет будинку обшитий оцинкованою покрівельною сталлю. Основна покрівля виконана з: залізобетонної пустотної плити перекриття; вирівнювальної цементно-піщаної стяжки 20 мм; пароізоляції на бітумній мастиці; мінераловатного утеплювача «Dachrock» завтовшки 90 мм; двошарового рулонного килима «Акваізол». Горище – тепле. Покрівля башт – металочерепиця. Ухил основного даху – $i = 0,015$ (слабосхильний).

Зовнішнє та внутрішнє оздоблення

Зовнішні стіни оштукатурюються та фарбуються. Внутрішні поверхні стін і стель вкриваються поліпшеною штукатуркою. Стіни санвузлів і кухонь облицьовані керамічною плиткою. У кімнатах застосовуються шпалери; в інших приміщеннях – фарбування.

Ліфтове обладнання

У будівлі встановлено 2 пасажирських і 1 вантажний ліфт. Тип кабіни – непрохідна з розсувними дверима. Розміри кабіни – $1700,0 \times 1700,0$ мм. Стіни ліфтових шахт – цегляні, товщиною 510 мм. Противага розміщується ззаду або збоку від кабіни.

Інженерні системи

Теплопостачання та гаряче водопостачання – від міських теплових мереж з нижнім розведенням по підвалу; нагрівальні прилади – конвектори. Каналізація – внутрішньодворова з підключенням до внутрішньоквартальної мережі; передбачено окремі випуски дощової каналізації. Сміттєпровід завершується бункером-накопичувачем у сміттекамері; у сміттекамері передбачено холодне та гаряче водопостачання. Верхня частина сміттєпроводу виходить на покрівлю для

провітрювання; через сміттєприймальні клапани здійснюється також димовидалення зі сходових кліток під час пожежі. Вхід до сміттекамери – окремий, з боку вулиці.

1.3 Теплотехнічний розрахунок огорожувальної конструкції

Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій виконано для холодного розрахункового періоду.

Мета розрахунку – встановлення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Для зовнішніх опалюваних конструкцій обов'язкове виконання умови:

$$R_{\Sigma np} \geq R_{qmin} \quad (1.1)$$

де $R_{\Sigma np}$ – приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції;

R_{qmin} – мінімально допустиме значення опору теплопередачі (за додатком Б).

Місто Полтава належить до I температурної зони України (згідно дод. А ДБН В.2.6-31:2021 [3, 7]).

Опір теплопередачі термічно однорідної багатошарової конструкції визначається за формулою [4]:

$$R_{\Sigma} = 1/h_{si} + \Sigma(\delta_i/\lambda_i) + 1/h_{se} \quad (1.2)$$

де h_{si} – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні;

h_{se} — коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні;

δ_i — товщина i-го шару, м;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу i-го шару.

Прирівнюючи R_{Σ} до R_{qmin} , визначаємо необхідну товщину утеплювача:

$$\delta_{ym} = (R_{qmin} - 1/h_{si} - \Sigma(\delta_i/\lambda_i) - 1/h_{se}) \cdot \lambda_{ym} \quad (1.3)$$

$$\Sigma R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_n,$$

де R_1, R_2, R_n - термічні опори окремих шарів огорожувальної конструкції, визначаємо за формулою:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i} R_i = \delta_i \lambda_i, \quad (1.4)$$

де δ_i - товщина однорідної огорожувальної конструкції (окремого i -го шару багатошарової конструкції), м;

λ_i - розрахунковий коефіцієнт теплопровідності матеріалу i -го шару в розрахункових умовах експлуатації, $Вт/(м \cdot K)$

Прирівнюється R_Σ до $R_{q,min}$ маємо:

$$R_{qmin} = R_\Sigma = 1/h_{si} + R_1 + R_2 + \dots R_n + 1/h_{se} \quad (1.5)$$

Таблиця 1.1.4 Характеристики шарів огорожувальної конструкції

Найменування шару	δ , мм	λ , Вт/(м·°C)
Цегла силікатна	770,0	0,870
Утеплювач «Dachrock»	170,0	0,0470
Штукатурка	20,0	0,93

Фактичний опір теплопередачі за формулою:

$$R_\Sigma = \left[\left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,77}{0,87} + \frac{0,17}{0,047} + \frac{0,02}{0,93} \right) \right] = 4,53 \text{ м}^2 \cdot K/Вт \quad (1.6)$$

$R_\Sigma = 4,53 \text{ м}^2 \cdot K/Вт$ – умова $R_\Sigma \geq R_{qmin}$ виконується.

До проєктування прийнята товщина утеплювача 170 мм.

Розділ 2 Розрахунково-конструктивна частина

2.1 Розрахунок підземної частини об'єкту

Таблиця 2.1.1 – Геологічний розріз за свердловинами

Шар	Грунт	Свердл. 1	Свердл. 2	Свердл. 3	Свердл. 4
1	Рослинний шар	0,6	0,7	0,8	0,6
2	Суглинок сірий	3,4	3,1	3,0	3,2
3	Суглинок коричневий	2,8	3,3	3,7	3,0
4	Пісок дрібний	3,7	3,5	3,9	3,4
5	Глина	8,2	8,4	9,2	9,8

2.1.1 Аналіз інженерно-геологічних умов

Геологічна будова та гідрогеологічні умови

Таблиця 2.1.2. – Відмітки устя свердловин

Свердл. 1	Свердл. 2	Свердл. 3	Свердл. 4
107,5	107,9	106,8	107,65

Таблиця 2.1.3. – Характеристики властивостей ґрунтів

№	Найменування	Позначення	Одиниця	Шар 1	Шар 2	Шар 3	Шар 4	Шар 5
1	Щільність	ρ	кН/м ³	17,0	20,0	19,5	19,8	21,4
2	Щільність частинок	ρ_s	кН/м ³	—	26,7	27,2	26,5	27,0
3	Природна вологість	W	—	—	0,16	0,18	0,24	0,22
4	Вологість на межі текучості	W _l	—	—	0,15	0,28	—	0,38
5	Вологість на межі розкатування	W _p	—	—	0,11	0,18	—	0,18
6	Кут внутрішнього тертя	φ	град.	—	18	22	30	20
7	Питоме зчеплення	c	кПа	—	20	10	1	20
8	Модуль деформації	E	МПа	—	16	18	12	20

Класифікаційні показники ґрунтів

1-й шар — рослинний (грунт) $\rho = 17,0 \text{ кН/м}^3$.

2-й шар — суглинок сірий: $\rho = 20,0 \text{ кН/м}^3$; $\rho_s = 26,7 \text{ кН/м}^3$; $W = 0,16$ $W_L = 0,15$, $W_p = 0,11$

$$I_p = W_L - W_p = 0,15 - 0,11 = 0,04;$$

Число пластичності: $I_p = W_L - W_p = 0,15 - 0,11 = 0,04$.

$$I_p = 0,04 \text{ (суглинок)}$$

Показник текучості:

$$I_L = (W - W_p) / I_p = (0,16 - 0,11) / 0,04 = 1,25$$

Висновок: суглинок сірий — текучий.

3-й шар — суглинок коричневий: $\rho = 19,5 \text{ кН/м}^3$; $\rho_s = 27,2 \text{ кН/м}^3$; $W = 0,18$,
 $W_L = 0,28$, $W_p = 0,18$

$$I_p = W_L - W_p = 0,28 - 0,18 = 0,10$$

$$I_L = (W - W_p) / I_p = (0,18 - 0,18) / 0,10 = 0,0$$

Висновок: суглинок коричневий — напівтвердий.

4-й шар — пісок дрібний: $\rho = 19,8 \text{ кН/м}^3$; $\rho_s = 26,5 \text{ кН/м}^3$; $W = 0,24$;

Коефіцієнт пористості та ступінь вологості визначаються з урахуванням щільності води $\rho_w = 1,0 \text{ т/м}^3$.

$$e = \frac{\rho_s}{\rho} \cdot (1 + W) - 1 = \frac{26,5}{19,8} \cdot (1 + 0,24) - 1 = 0,66$$

$$S_R = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w} = \frac{0,24 \cdot 26,5}{0,66 \cdot 10} = 0,96$$

Висновок: пісок дрібний, середньої щільності, насичений водою.

5-й шар — глина: $\rho = 21,4 \text{ кН/м}^3$; $\rho_s = 27,0 \text{ кН/м}^3$; $W = 0,22$; $W_L = 0,38$; $W_p = 0,18$.

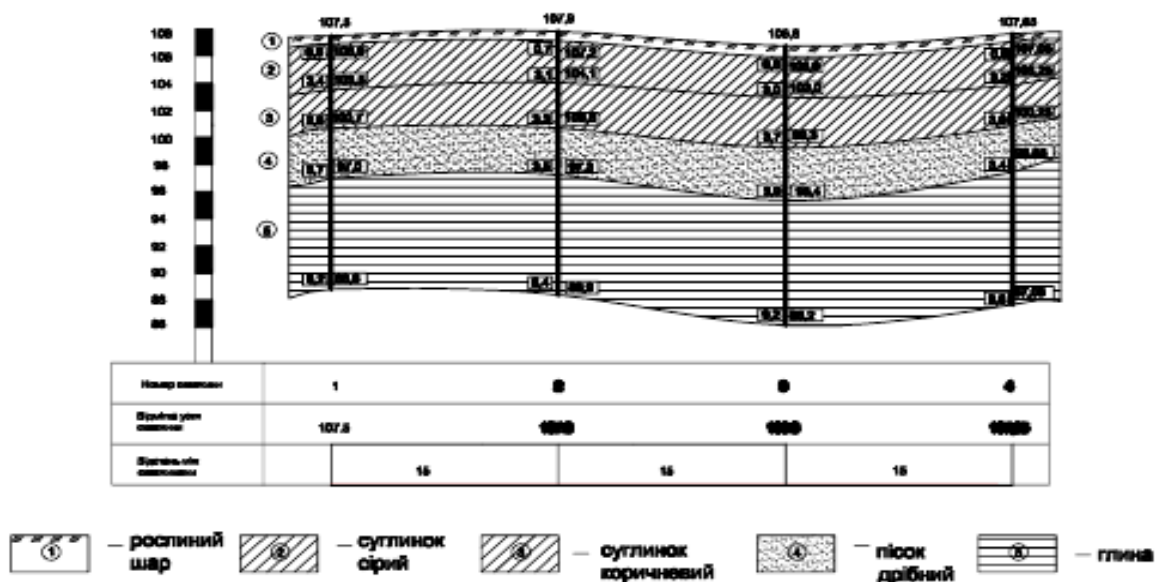
$$I_p = W_L - W_p = 0,38 - 0,18 = 0,20$$

$$I_L = (W - W_p) / I_p = (0,22 - 0,18) / 0,20 = 0,20$$

Висновок: глина — напівтверда; є придатною основою для зведення будівель і споруд.

Інженерно-геологічний розріз

Вертикальний масштаб 1:200 Горизонтальний масштаб 1:200



2.1.2 Збір навантажень

Збирання навантажень виконано для фундаменту під стіну підвалу по осі 1. Фундамент сприймає зусилля від усіх надземних конструкцій: стін, перекриттів, покрівлі, власної ваги та снігового покриву [8, 9].

2.4 Мінераловатні плити DACHROCK $\gamma=175 \text{ кг/м}^3$, $\delta=170 \text{ мм}$	0.15750	1.30	0.210
2.5 Пароізоляція (бітумний праймер)	0.0210	1.30.	0.0273
2.7 Ухилоутворювальний шар легкого бетону $\delta=90 \text{ мм}$	0.90	1.30	1.17
2.8 Залізобетонне перекриття	3.3	1.10	3.63
Усього по покрівлі	4.77		6.2
3 Стіни $\delta=770 \text{ мм}$, $\gamma=1800 \text{ кг/м}^3$	13.86	1.30	18.018
Усього від 16 поверхів	706.9		918.9
РАЗОМ постійні	774.27		gor = 1006.62
2 Тимчасові навантаження			
2.1 Короткочасне	1.5	1.30	$1.95 \times 16 = 31.2$
2.2 Довготривале	1.0	1.20	$1.2 \times 16 = 19.2$
2.3 Снігове	1.60	1.20	1.92
РАЗОМ тимчасові	4.10		vor = 52.32
3 Повне навантаження (постійне + тривале + снігове)			1027.740
Короткочасне			31.20
УСЬОГО			vor = 1058.9

2.1.3 Вибір глибини закладання ростверку і довжини палі

До проєктування прийнято забивні палі з попередньо напруженою арматурою. Довжина палі призначається виходячи з інженерно-геологічних умов майданчика: нижній кінець заглиблюється в несучий шар (глину) не менше ніж на 1 м. Поперечний переріз палі – діаметр 600 мм; довжина – 10,1 м. Глибина закладання ростверку – 2,3 м.

2.1.4 Розрахунок паль

2.1.4.1 Визначення несучої здатності палі

Несуча здатність одиночної палі визначається за формулою:

$$Fd = \gamma_c \cdot (\gamma_c R \cdot R \cdot A + u \cdot \Sigma \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i)$$

де:

- Fd — несуча здатність одиночної палі, кН;
- $\gamma_c = 1$ – коефіцієнт умов роботи палі в ґрунті;
- R – розрахунковий опір ґрунту під подошвою палі, кПа;
- A – площа обпирання палі на ґрунт, м^2 : $A = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0.3^2 = 0.2830 \text{ м}^2$;

– u – зовнішній периметр поперечного перерізу палі, м: $u = 2\pi \cdot r = 2 \cdot 3.14 \cdot 0.30 = 1,88$ м;

– h_i – товщина i -го розрахункового шару ґрунту, м;

– γ_{cR} та γ_{cf} – коефіцієнти умов роботи ґрунту під нижнім кінцем та на бічній поверхні палі, прийняті рівними 1,0;

– f_i – розрахунковий опір i -го шару ґрунту на бічній поверхні палі, кН/м².

$$f_i = \sigma_{zg,i} \frac{v_i}{1 - v_i} \operatorname{tg} \varphi_{II,i} + c_{II,i} \quad (2.7)$$

v_i – коефіцієнт Пуассона ґрунту в середині i -го розрахункового шару ґрунтової основи становить 0,21–0,29 – для пісків, 0,3–0,37 – для супесей і суглинків і 0,4 – для глин.

$$R = 3000 \text{ кПа.}$$

$$\sigma_{zg} = \sum_{i=n}^1 \gamma_i h_i \quad (2.8)$$

Товщини розрахункових шарів:

$$h_1 = 1.50 \text{ м; } h_2 = 1.50 \text{ м; } h_3 = 1.50 \text{ м; } h_4 = 0.7 \text{ м; } h_5 = 1.5 \text{ м; } h_6 = 1.5 \text{ м; } h_7 = 0.90 \text{ м; } h_8 = 1.00 \text{ м}$$

Вертикальні напруження від власної ваги ґрунту (σ_{zg}) по границях шарів:

На поверхні ґрунту:

$$\sigma_{zg,0} = 0$$

На межі 2-го та 3-го шарів:

$$\sigma_{zg,1} = \gamma_2 \cdot h_2 = 20,0 \cdot 1,5 = 30,0 \text{ кН/м}^2$$

На межі 3-го та 4-го шарів:

$$\sigma_{zg,4} = \gamma_3 \cdot h_3 + \gamma_2 \cdot h_2 = 30,0 + 19,5 \cdot 3,7 = 102,15 \text{ кН/м}^2$$

На межі 4-го та 5-го шарів:

$$\sigma_{zg,7} = \gamma_4 \cdot h_4 + \gamma_2 \cdot h_2 + \gamma_3 \cdot h_3 = 102,15 + 19,8 \cdot 3,9 = 179,37 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,1} = 20,0 \cdot 1.5 = 30,0 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,2} = 30,0 + 19,5 \cdot 1,5 = 59,25 \text{ кН/м}^2 ;$$

$$\sigma_{zg,3} = 59,25 + 19,5 \cdot 1.5 = 88,5 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,4} = 88,5 + 19,5 \cdot 0,7 = 102,15 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,5} = 102,15 + 19,8 \cdot 1,5 = 131,85 \text{ кН} / \text{м}^2$$

$$\sigma_{zg,6} = 131,85 + 19,8 \cdot 1,5 = 161,55 \text{ кН} / \text{м}^2$$

$$\sigma_{zg,7} = 161,55 + 19,8 \cdot 0,9 = 179,37 \text{ кН} / \text{м}^2$$

$$\sigma_{zg,8} = 179,37 + 21,4 \cdot 1 = 200,77 \text{ кН} / \text{м}^2$$

$$f_1 = 30,0 \cdot 0,428 \cdot \text{tg} 18 + 20 = 24,17 \text{ кН} / \text{м}^2$$

$$f_2 = 59,25 \cdot 0,428 \cdot \text{tg} 22 + 10 = 20,25 \text{ кН} / \text{м}^2$$

$$f_3 = 88,5 \cdot 0,428 \cdot \text{tg} 22 + 10 = 25,30 \text{ кН} / \text{м}^2$$

$$f_4 = 102,15 \cdot 0,428 \cdot \text{tg} 22 + 10 = 27,66 \text{ кН} / \text{м}^2$$

$$f_5 = 131,85 \cdot 0,333 \cdot \text{tg} 30 + 1 = 26,4 \text{ кН} / \text{м}^2$$

$$f_6 = 161,55 \cdot 0,333 \cdot \text{tg} 30 + 1 = 32,1 \text{ кН} / \text{м}^2$$

$$f_7 = 179,37 \cdot 0,333 \cdot \text{tg} 30 + 1 = 35,5 \text{ кН} / \text{м}^2$$

$$f_8 = 200,77 \cdot 0,667 \cdot \text{tg} 26 + 30 = 95,3 \text{ кН} / \text{м}^2$$

Несуча здатність палі:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_c \cdot R \cdot A + u \cdot \sum \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i) \quad (2.9)$$

$$F_d = 1 \cdot (1 \cdot 3000 \cdot 0,283 + 1,88 \cdot 338,88) = 1486,1 \text{ кН}$$

Допустиме розрахункове навантаження на палю:

$$N = F_d / \gamma_k = 1486,1 / 1,4 = 1061,5 \text{ кН}$$

де N – розрахункове навантаження, що передається на палю від зовнішніх зусиль при найбільш несприятливому їх поєднанні.

Кількість палей на 1 погонний метр стрічкового ростверку з умови максимального використання несучої здатності:

$$n = \frac{\sum N_i}{\frac{F_d}{\gamma_k} - 0,9 \cdot d_p \cdot \gamma_{cp} - 1,1 \cdot 10 \cdot g_c} \text{ де:}$$

– $\sum N_i$ – сума вертикальних навантажень на обрізі ростверку;

– $0,9 \cdot d_p \cdot \gamma_{cp}$ – навантаження від ростверку та ґрунту на одну палю, кН;

– $d_p = 2,3 \text{ м}$ – глибина закладання ростверку;

– $\gamma_{cp} = 22,50 \text{ кН/м}^3$ – усереднена питома вага ростверку і ґрунту;

– $g_{\text{св}}$ – маса палі, кН.

$$n = \frac{1058,9}{1061,5 - 0,9 \cdot 2,3 \cdot 22,5} = 1 \text{ паля}$$

Попередня розстановка: приймається 1 паля на 1 пог. м.

Мінімальна відстань між палями в ряду:

$$l_l = 3 \cdot d = 3 \cdot 0,6 = 1,8 \text{ м}$$

Осьова відстань між рядами паль у ростверку:

$$l_{\text{ос}} = \sqrt{(3d)^2 - \left(\frac{3d}{2}\right)^2}$$
$$l_{\text{ос}} = \sqrt{(3 \cdot 0,6)^2 - \left(\frac{3 \cdot 0,6}{2}\right)^2} = 1,60 \text{ м}$$

Ширина ростверку в плані:

$$l_p = l_{\text{ос}} + 2 \cdot d + 2 \cdot 0,3 = 1,6 + 2 \cdot 0,6 + 0,6 = 3,4 \text{ м}$$

Прийнято: ширина ростверку $l_p = 3,40$ м; висота ростверку $h_p = 0,80$ м.

2.1.4.2 Розрахунок основи пальового фундаменту за деформаціями

Середнє значення кута внутрішнього тертя ґрунтів, що прорізаються палю:

$$\varphi_{\text{II}, \text{мт}} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{\text{II}, i} \cdot h_i}{\sum h_i} = \frac{1,5 \cdot 18 + 3,7 \cdot 22 + 3,9 \cdot 30 + 1 \cdot 20}{1,5 + 3,7 + 3,9 + 1} = 24,89^\circ$$

де h_i — товщина i -го шару, що контактує з бічною поверхнею палі.

Середній кут внутрішнього тертя ґрунтів:

$$\alpha = \frac{\varphi_{\text{II}, \text{мт}}}{4} = 6,22^\circ$$

Ширина умовного фундаменту:

$$B_{\text{уф}} = y + z + 2 \cdot h \cdot \tan \alpha = 0,6 + 1,6 + 2 \cdot 0,11 \cdot 10,1 = 4,4 \text{ м},$$

де d — діаметр палі;

$L_{\text{св}}$ — довжина палі.

де n — кількість паль;

$G_{\text{св}, 1}$ — вага 1 м палі, кН.

Власна вага ґрунту в об'ємі АБВГ:

$$G_{зр.уф.}'' = B_{уф.} \cdot L_{уф.} \sum \gamma_i h_i = 4,4 \cdot 1(1,5 \cdot 20 + 3,7 \cdot 19,5 + 3,9 \cdot 19,8 + 1 \cdot 21,4) = 883,4 \text{ кН}$$

Середній контактний тиск під подошвою умовного фундаменту:

$$p_{II} = (N_n + G_{рн} + G_{свн} + G_{зрн}) / A_{ум}$$

де N_n — нормативне вертикальне навантаження на палю; $G_{рн}$ — вага ростверку; $G_{свн}$ — вага паль; $G_{зрн}$ — вага ґрунту в об'ємі умовного фундаменту.

Розрахунковий опір ґрунту основи під подошвою умовного фундаменту:

$$P'' = \frac{N'' + G_p'' \cdot 1,1 + G_{св}'' + G_{зр}''}{B_{уф.} \cdot L_{уф.}} = \frac{1058,9 + 68 \cdot 1,1 + 71,71 + 883,4}{4,4 \cdot 1} = 474,73 \text{ кН/м}^2$$

N'' — нормативне вертикальне навантаження на сваю, кН;

G_p'' — вага ростверку, кН;

$G_{св}''$ — власна вага паль, кН;

$G_{зр}''$ — власна вага ґрунту в об'ємі АБВГ, кН.чм

Розрахунковий опір ґрунту основи під подошвою умовного фундаменту:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot (M_\gamma \cdot B_{уф.} \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_{уф.} \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II})$$

де γ_{c1} та γ_{c2} - коефіцієнти умови роботи, які приймаються за табл. Е.7 ДБН В.2.1-10-2009, $\gamma_{c1} = 1,25$; $\gamma_{c2} = 1,10$;

k - коефіцієнт, який рівний $k = 1$, (φ та c визначені безпосередніми випробуваннями);

M_γ, M_q, M_c — коефіцієнти, згідно табл. Е.8 ДБН В.2.1-10-2009,

$B_{ум}$ - ширина умовного фундаменту;

γ_{11} - розрахункове значення питомої ваги ґрунту, $\frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$, розташоване нижче за подошву умовного фундаменту;

γ'_{11} - середнє (по шарам) розрахункове значення питомої ваги ґрунту, $\frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$, що є вище умовного фундаменту

c_{11} — розрахункове значення питомого зчеплення ґрунту, залягає безпосередньо під подошвою фундаменту кН/м^2

$d_{ум}$ — приведена глибина закладення умовного фундаменту від підлоги підвалу,

$$d_{ym} = 12,40 \text{ м.}$$

$$\gamma_{c1} = 1,25;$$

$$\gamma_{c2} = 1,1;$$

$$k = 1;$$

$$M_{\gamma} = 0,51;$$

$$M_q = 3,06;$$

$$M_c = 5,66;$$

$$k_z = 1;$$

$$\gamma_{II} = 20,1 \text{ кН/м}^3;$$

$$\gamma'_{II} = 18,5 \text{ кН / м}^3;$$

$$c_{II} = 20 \text{ кПа};$$

$$R = \frac{1,25 \cdot 1,1}{1} (0,51 \cdot 4,4 \cdot 20,1 + 3,06 \cdot 12,4 \cdot 18,5 + 5,66 \cdot 20) = 1182,87 \text{ кН/м}^2$$

Умова розрахунку пальового фундаменту за другою групою граничних станів повністю задовольняється:

$$p_{II} = 474,730 < R = 1182,870 \text{ (кН/м}^2\text{)}.$$

2.1.5 Розрахунок осідання умовного фундаменту

Величина осідання визначається методом пошарового підсумовування:

$$S = \beta \cdot \Sigma (\sigma_{zp,i} \cdot h_i / E_i)$$

де:

- $\sigma_{zp,i}$ – середнє додаткове вертикальне напруження в і-му шарі, кН/м²;
- h_i – товщина і-го шару, м;
- E_i – модуль деформації ґрунту і-го шару, кН/м²;
- $\beta = 0,80$ – коефіцієнт бічного розширення ґрунту.

Попередньо будується епюра вертикальних напружень від власної ваги ґрунту:

$$\sigma_{zg} = \Sigma \gamma_i \cdot h_i$$

Значення σ_{zg} на межах шарів:

$$\sigma_{zg,0} = 0$$

$$\sigma_{zg,1} = \gamma_2 \cdot h_2 = 20,0 \cdot 1,5 = 30,0 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,4} = \gamma_3 \cdot h_3 + \gamma_2 \cdot h_2 = 30,0 + 19,5 \cdot 3,7 = 102,15 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,7} = \gamma_4 \cdot h_4 + \gamma_2 \cdot h_2 + \gamma_3 \cdot h_3 = 102,15 + 19,8 \cdot 3,9 = 179,37 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,1} = 20,0 \cdot 1,5 = 30,0 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,2} = 30,0 + 19,5 \cdot 1,5 = 59,25 \text{ кН/м}^2 ;$$

$$\sigma_{zg,3} = 59,25 + 19,5 \cdot 1,5 = 88,5 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,4} = 88,5 + 19,5 \cdot 0,7 = 102,15 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,5} = 102,15 + 19,8 \cdot 1,5 = 131,85 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,6} = 131,85 + 19,8 \cdot 1,5 = 161,55 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,7} = 161,55 + 19,8 \cdot 0,9 = 179,37 \text{ кН/м}^2$$

Вертикальні напруження від власної ваги ґрунту на рівні підшви умовного фундаменту:

$$\begin{aligned} \sigma_{zg,0} &= \gamma_2 \cdot h_2 + \gamma_3 \cdot h_3 + \gamma_4 \cdot h_4 + \gamma_5 \cdot (d - h_1 - h_2 - h_3 - h_4) = \\ &= 20,0 \cdot 1,5 + 19,5 \cdot 3,7 + 19,8 \cdot 3,9 + 21,4 \cdot 1,0 = 200,77 \text{ кН/м}^2 \end{aligned}$$

Додатковий вертикальний тиск від зовнішнього навантаження на рівні підшви:

$$P_0 = P' - \sigma_{zg,0} = 474,73 - 200,77 = 273,96 \text{ кН/м}^2$$

де P' — середній тиск під підшвою умовного фундаменту.

Товщина елементарного прошарку:

$$h = 0,4 \cdot b = 0,4 \cdot 4,4 = 1,76 \text{ м}$$

Епюра додаткових напружень у стискуваній товщі основи будується за формулою:

$$\sigma_{zp,i} = \alpha_i \cdot P_0$$

де α_i — коефіцієнт розсіювання напружень (за табл. Д.1 ДБН В.2.1-10-2009) залежно від форми підшви та відносної глибини $\xi = 2z/b$ при $\eta \geq 10$.

Нижня межа стискуваної товщі визначається з умови:

$$\sigma_{zp} = 0,2 \cdot \sigma_{zg,0} = 0,2 \cdot 200,770 = 40,15 \text{ кН/м}^2$$

Ординати епюри додаткових напружень:

Точка	z, м	$\xi = 2z/b$	α_i	$\sigma_{zp,i} = \alpha_i \cdot P_0, \text{ кН/м}^2$
$Z_0 = 0$	0	0	1,000	273,96
Z_1	1,76	0,8	0,881	241,4
Z_2	3,52	1,6	0,642	175,88
Z_3	5,28	2,4	0,477	130,68
Z_4	7,04	3,2	0,374	102,46
Z_5	8,80	4,0	0,306	83,83
Z_6	9,20	4,2	0,293	80,27

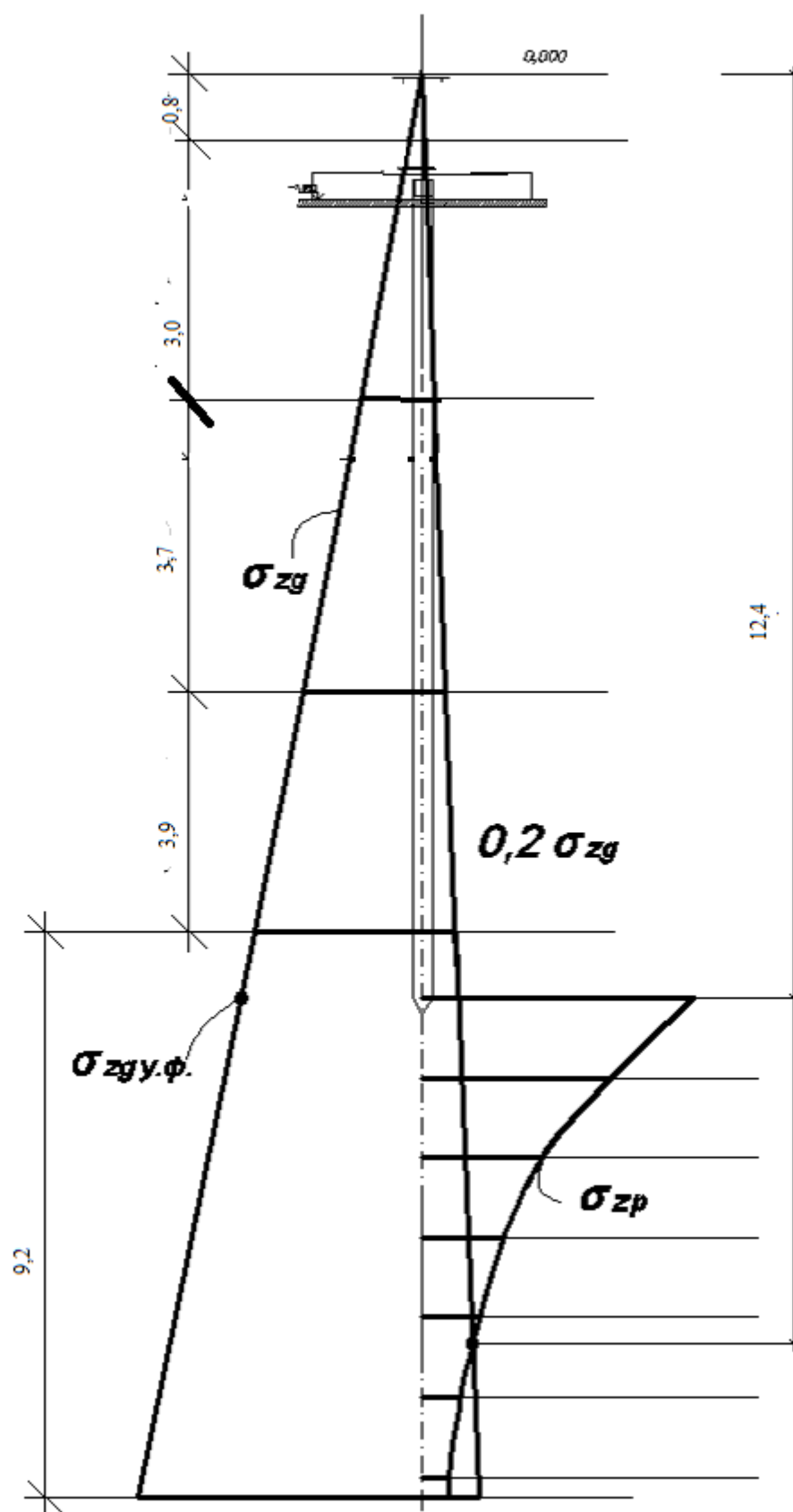
5-й шар ($Z_1 - Z_6$): $E = 20 \cdot 10^3 \text{ кН/м}^2$.

Величина осідання фундаменту:

$$S = (0,8 / (20 \cdot 10^3)) \cdot [(273,96 + 241,4) / 2 \cdot 1,76 + (241,4 + 175,88) / 2 \cdot 1,76 + \\ + (175,88 + 130,68) / 2 \cdot 1,76 + (130,68 + 102,46) / 2 \cdot 1,76 + \\ + (102,46 + 83,83) / 2 \cdot 1,76 + (83,83 + 80,27) / 2 \cdot 1,76]$$

$$S = 0,064 \text{ м} = 6,40 \text{ см}$$

Умова розрахунку фундаменту за другою групою граничних станів виконується — розрахункове осідання не перевищує граничного.

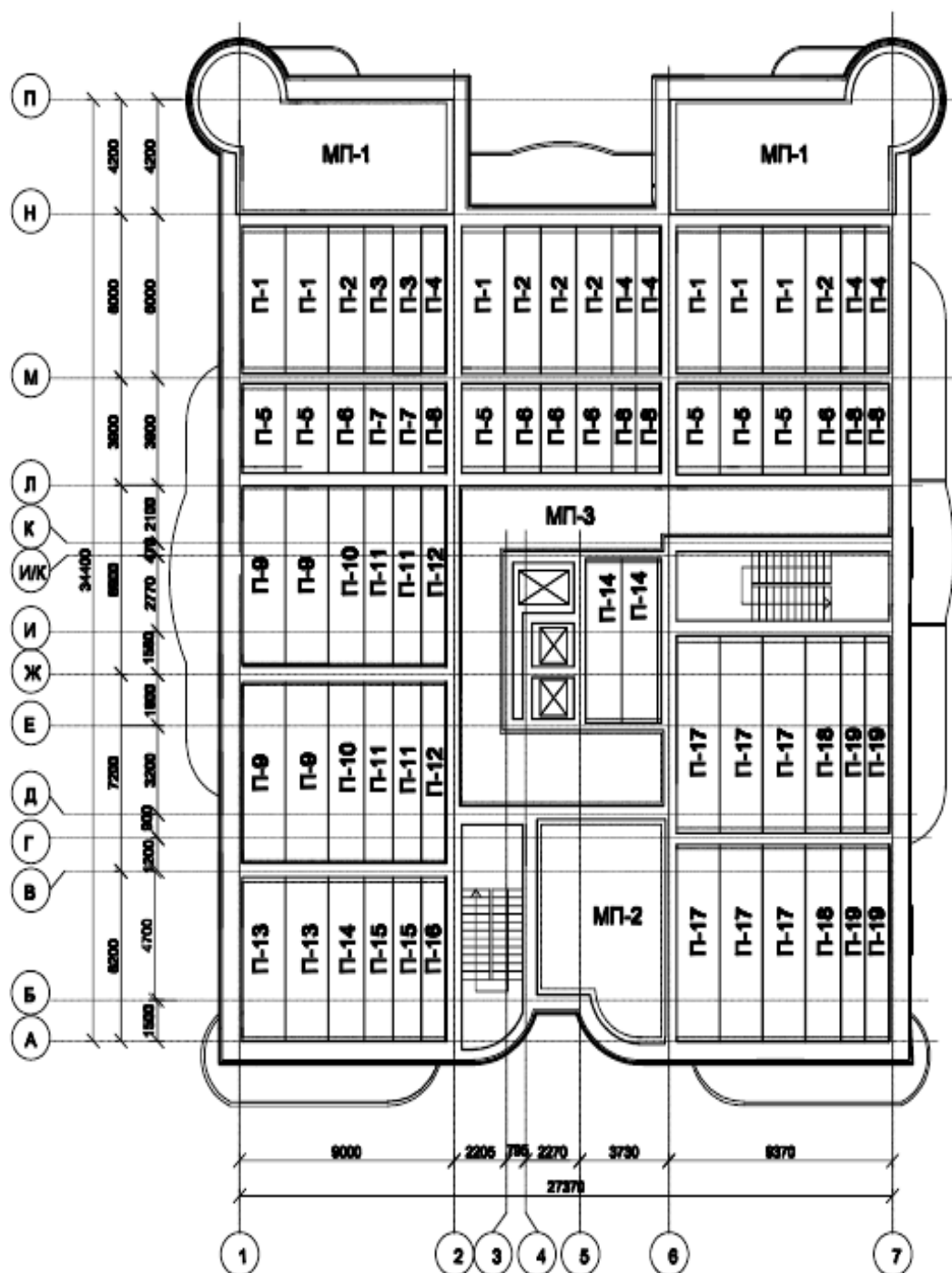


2.2 Розрахунок надземної частини об'єкту

Вихідні дані

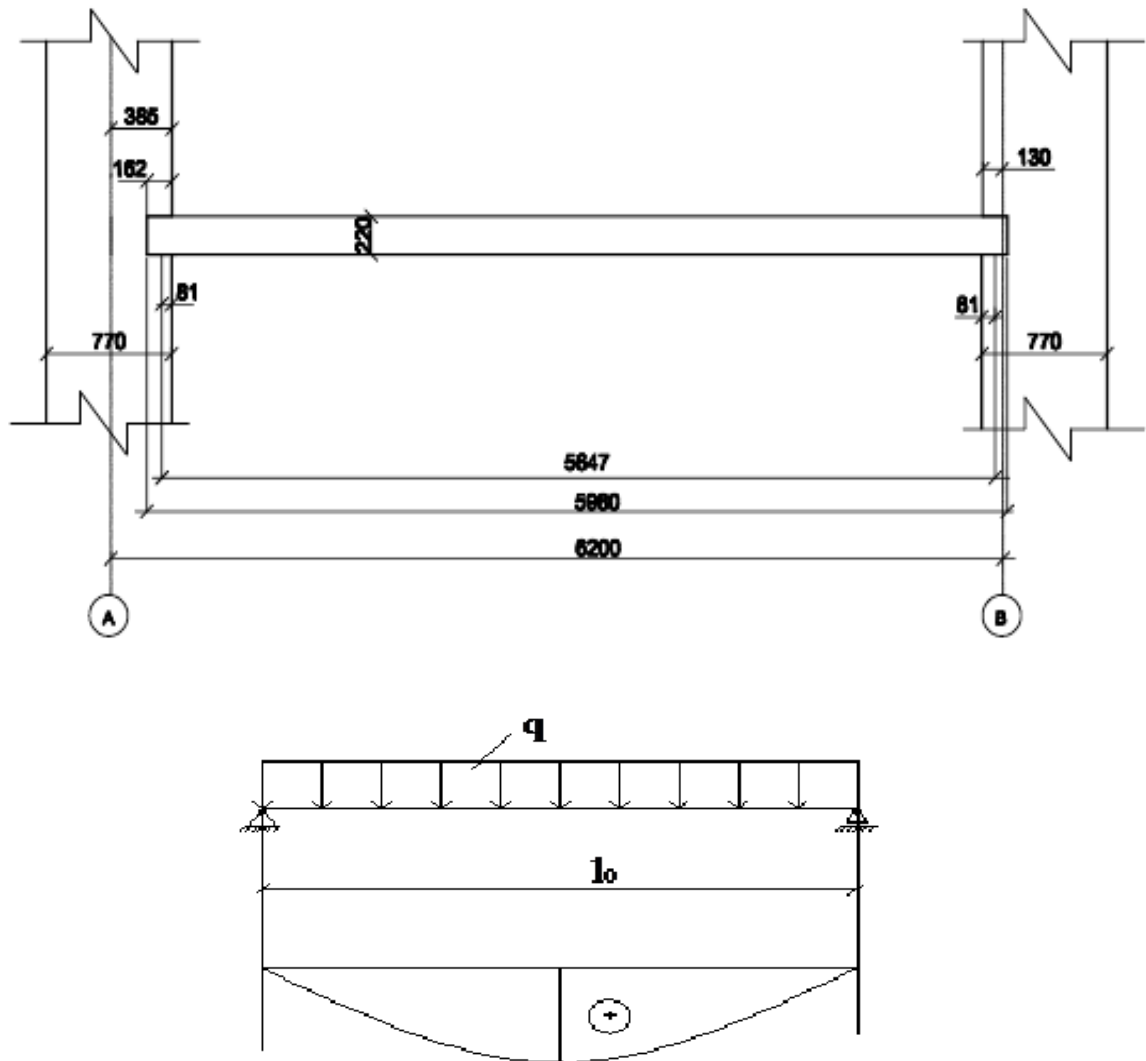
- Район будівництва – м. Полтава.
- Кількість поверхів – $n = 16$ шт.
- Висота поверху – $H = 3.00$ м.
- Клас попередньо напруженої арматури – A600C.
- Довжина будинку – 34.4 м.
- Ширина будинку – 27.37 м.

2.2.1 Компонування перекриття



2.2.2 Розрахунок багатопустотної попередньо напруженої плити за першою групою граничних станів

З позицій будівельної механіки плита розглядається як балка на двох шарнірних опорах; внутрішні зусилля визначаються відповідними розрахунковими методами [13].



Визначення розрахункової довжини плити

$$l_0 = l_1 - 385 - 650 + 188 + 320 = 6000,0 - 385,0 - 130,0 + 81,0 + 81,0 = 5647,0 \text{ мм}$$

де l_0 — розрахунковий проліт плити.

Визначення розрахункового погонного навантаження

$$\text{розрахункове погонне} - q = q_{tot.0} \times b_n = 8,250 \times 1.8 = 14,850 \text{ кН/м};$$

- повне нормативне погонне - $q_{tot} = q_{tot.n.0} \times b_n = 6,410 \times 1,8 = 11,50 \text{ кН/м}$;
- постійне та тривале погонне - $q_l = q_{l.0} \times b_n = 6,30 \times 1,8 = 11,340 \text{ кН/м}$;
- короткочасне погонне - $v_{s,h} = v_{s,h.0} \times b_n = 1,950 \times 1,8 = 3,510 \text{ кН/м}$;

Визначення внутрішніх зусиль

$$M_{Ed} = q \times l_0^2 / 8 = 14,85 \times 5,647^2 / 8 = 59,2 \text{ кНм}$$

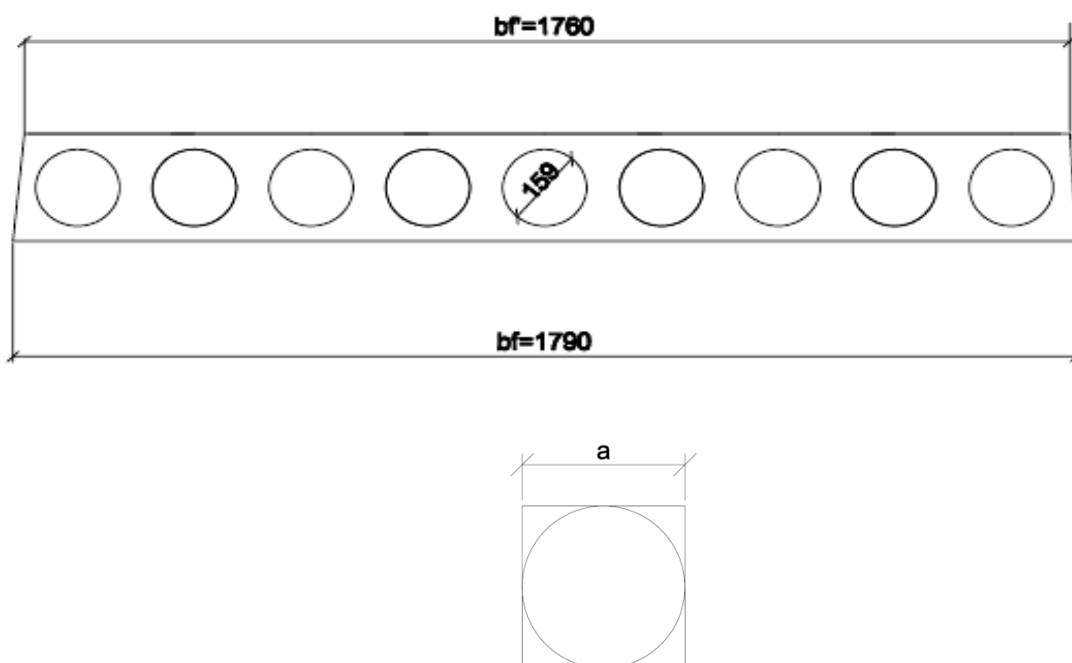
$$M_{tot,n} = q_{tot,n} \times l_0^2 / 8 = 11,5 \times 5,647^2 / 8 = 45,84 \text{ кНм}$$

$$M_l = q_l \times l_0^2 / 8 = 11,34 \times 5,647^2 / 8 = 45,2 \text{ кНм}$$

$$M_{s,h} = v_{s,h} \times l_0^2 / 8 = 3,51 \times 5,647^2 / 8 = 13,99 \text{ кНм}$$

$$Q_{Ed} = q \times l_0 / 2 = 14,85 \times 5,647 / 2 = 41,92 \text{ кН}$$

2.2.2.1 Розрахунок міцності нормального перерізу



Кругові пустоти замінюються квадратними еквівалентними:

$$A = \pi \cdot d^2 / 4 = 0,0198 \text{ м}^2, \text{ де } d = 159 \text{ мм} \text{ — діаметр пустоти}$$

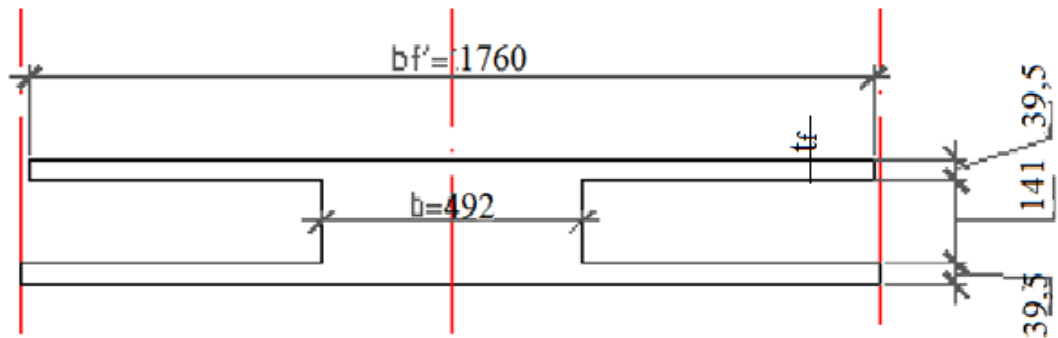
$$a = \sqrt{A} = 0,1407 \text{ м}$$

$$a_9 = 9 \times 0,141 = 1,269 \text{ м}; \quad b = 1,76 - 1,269 = 0,492 \text{ м}$$

Товщина полиці:

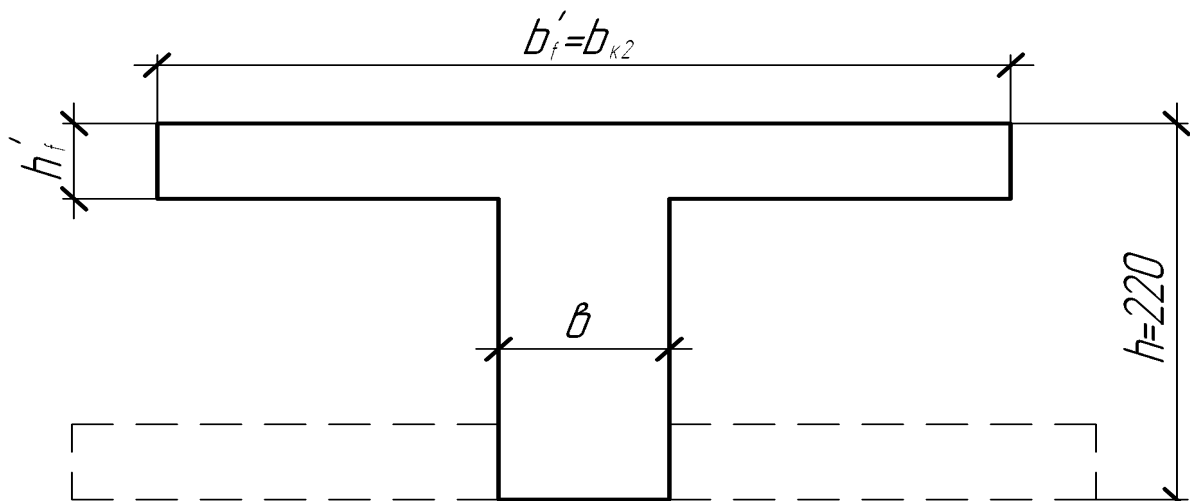
$$t_f = (h_{\text{плити}} - a) / 2 = (220 - 141) / 2 = 39.50 \text{ мм}$$

Переріз наводиться до двотаврового.



Верхня ефективна ширина:

$$b_f = b_f' - 30 = 1790 - 30 = 1760,0 \text{ мм}$$



Пустотна плита розраховується як балка таврового перерізу.

Характеристики попередньо напруженої арматури класу А600С [14]:

- характеристичне значення умовної межі текучості: $f_{p0,1k} = 575 \text{ МПа}$;
- характеристичне значення опору розтягу: $f_{pk} = 630 \text{ МПа}$;
- коефіцієнт надійності: $\gamma_s = 1,2$;
- розрахунковий опір розтягу: $f_{pd} = f_{p0,1k} / \gamma_s = 575 / 1,2 = 479,20 \text{ МПа}$;
- модуль пружності: $E_p = 190\,000 \text{ МПа}$;

- відносні деформації при досягненні f_{pd} : $\varepsilon_{pd0} = f_{pd} /$;
- граничні відносні деформації: $\varepsilon_{uk} = 0,02$; $\varepsilon_{ud} = 0,9 \cdot \varepsilon_{uk} = 0,018$.

Характеристики бетону класу C12/15 [11]:

- розрахункова міцність на стиск: $f_{cd} = 8,50$ МПа;
- граничні деформації: $\varepsilon_{c3} = 0,520\text{‰} = 0,00052$; $\varepsilon_{cu3} = 3,330\text{‰} = 0,00333$;
- модуль пружності: $E_{cd} = 16,30$ ГПа = 16 300 МПа.

Робоча висота плити:

$$d = h_{\text{плити}} - C_{\min} = d_s \times 2.5 - 10 - d_s / 2 = \dots = 174.0 \text{ мм}$$

де $C_{\min} = 46$ мм – мінімальний захисний шар арматури [10-12].

Умова міцності нормального перерізу:

$$M_{rd} = f_{pd} \times A_{sp} \times Z = f_{pd} \times b_{lf} \times t_f^1 (d - 0.5 t_f^1) \geq M_{ed} = 59.20 \text{ кНм}$$

Перевіряємо положення нейтральної осі. Припускаємо, що вона проходить по нижній грані полиці; відносна висота стиснутої зони дорівнює відносній висоті полиці:

$$\xi_f = \frac{h_f'}{d} = \frac{39,5}{174} = 0.23$$

Відповідне значення відносного моменту стиснутої зони:

$$\alpha_{mf} = \omega_c \xi_f (1 - \beta \xi_f) = 0.1895$$

де ω_c - є коефіцієнт повноти епюри напружень; при використанні білінійної епюри $\omega_c = (1 + k) / 2 = 0.922$. Тут k - є коефіцієнт прямокутної частини білінійної епюри напружень, який означає долю прямокутної частини в загальній висоті стиснутої зони бетону:

$$k = \frac{\varepsilon_{cu3,cd} - \varepsilon_{c3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd}} = 0.843$$

Коефіцієнт β , що характеризує положення центру ваги білінійної епюри напружень ($x_c = \beta \cdot x$):

$$\beta = \frac{k^2 + k + 1}{3(1 + k)} = 0.462$$

Згинальний момент, що сприймається полицею («момент полиці»):

$$M_{Rdf} = \alpha_m f_{cd} b_{eff} d^2 = 85.84 \text{ кНм}.$$

Якщо $M_{Ed} \leq M_f$ — нейтральна вісь проходить у полиці та подальший розрахунок ведеться як для прямокутного перерізу шириною b_f .

Припускається, що цей переріз працює в найбільш раціональній області деформації **2**, у якій використовуються міцнісні властивості бетону і арматури.

Для області **2**:

$$\xi_b = \frac{\varepsilon_{cu3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd} + \varepsilon_{ud}} = \frac{3.33}{3.33 + 18} = 0.15 < \xi = 0.23 \leq \xi_{lim} = \frac{\varepsilon_{cu3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd} + \varepsilon_{p0}} = \frac{3.33}{3.33 + 2.4} = 0.57.$$

У наведених розрахунках $\varepsilon_{p0} = f_{pd} / E_s$; ε_{ud} - гранична відносна деформація арматурної сталі класу.

Переріз функціонує в зоні деформування **2**, де повністю реалізуються міцнісні властивості бетону й арматури. Межі зони **2**:

Знаходимо верхнє ξ_{lim} і нижнє ξ_b граничні значення відносної висоти стиснутої зони і відповідні їм граничні значення α_{mb} та $\alpha_{m,lim}$ на основі залежності

$$\alpha_m = 0.5(1 + k)\xi(1 - \beta\xi).$$

$$\alpha_{mb} = 0.5(1 + 0.843) \cdot 0.15 \cdot (1 - 0.462 \cdot 0.15) = 0.128.$$

$$0 \alpha_{m,lim} = 0.5(1 + 0.843) \cdot 0.57 \cdot (1 - 0.462 \cdot 0.57) = 0.387.$$

Фактичне значення коефіцієнта становить α_m

$$\alpha_m = \frac{M_{Ed}}{b f_{cd} d^2} = \frac{59.2}{1.76 \cdot 8500 \cdot 0.174^2} = 0.131$$

порівнюємо отримане значення зі знайденими граничними значеннями.

$$\alpha_{mb} = 0.128 < \alpha_m = 0.131 \leq \alpha_{m,lim} = 0.387.$$

Коефіцієнт η (є відносним плечем внутрішньої пари сил) буде

$$\eta = \frac{z_c}{d} = 0.5 + \sqrt{0.25 - \frac{2\beta\alpha_m}{1+k}} = 0.93$$

- розраховується плече внутрішньої пари сил z_c із рівнянь

$$z_c = \eta \cdot d = 0.93 \cdot 174 = 161,7 \text{ мм};$$

- Розраховується X , використовуючи співвідношення

$$x = d(1 - \eta) / \beta = 27.36 \text{ мм};$$

- розраховується деформація

$$\varepsilon_{st} = \frac{\varepsilon_{cu3,cd}(d - x)}{x} = \frac{0.00333(174 - 27.36)}{27.36} = 0.0178;$$

- розраховується виконання умови

$$\varepsilon_{p0} = 0.0024 \leq \varepsilon_{st} = 0.0178 \leq \varepsilon_{ud} = 0.018.$$

- розраховується напруження які відповідають деформаціям ε_{st}

$$\sigma_{pd} = f_{pd} + \left(\frac{f_{pk}}{\gamma_s} - f_{pd} \right) \frac{\varepsilon_{st} - \varepsilon_{p0}}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_{p0}} = 479.2 + \left(\frac{630}{1.2} - 479.2 \right) \frac{0.0178 - 0.0024}{0.02 - 0.0024} = 519,297 \text{ МПа}$$

- розраховується необхідна площу розтягнутої арматури A_{st}

$$A_{st} = \frac{M_{Ed}}{\sigma_{pd} \cdot z_c} = \frac{59.2}{519297 \cdot 0.1617} = 705 \text{ мм}^2$$

Приймається відповідно: 6Ø14 А600С ($A_{sp} = 924,00 \text{ мм}^2$).

2.2.3 Розрахунок багатопустотної плити за другою групою граничних станів

2.2.3.1 Геометричні характеристики бетонного та приведенного перерізів

Коефіцієнти приведення арматури до бетону:

$$\alpha_p = E_p / E_{cm}; \quad \alpha_{sc} = E_{sc} / E_{cm}$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{190000}{16300} = 11,66$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{170000}{16300} = 10,43$$

де $E_{sc} = 170\,000$ МПа — для арматури Вр-I.

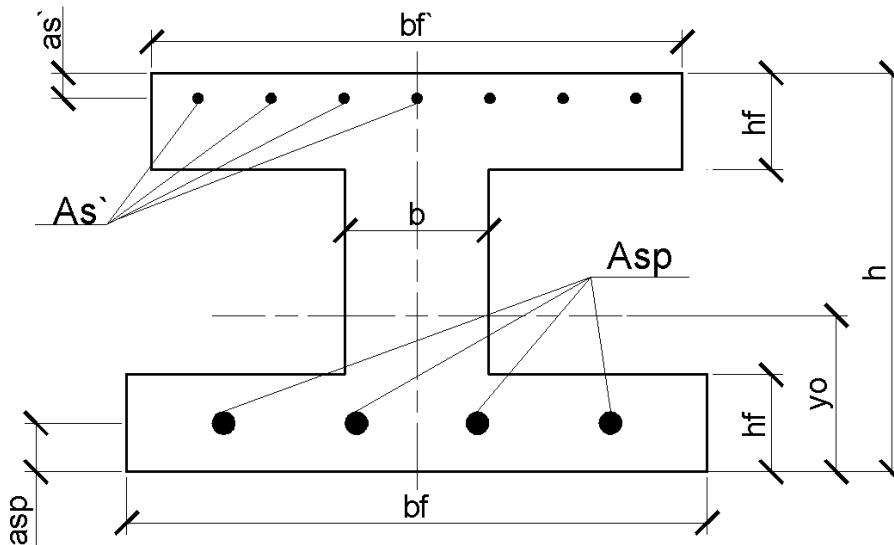


Рисунок 2.2.1 — Схема розташування арматури в перерізі плити

$$b_{eff} = b_f' = 1760 \text{ мм};$$

$$A_{sc} = A_s'; A_p = A_{sp};$$

$$a_s' = c_1 = 20 \text{ мм}; a_{sp} = c_p = 46 \text{ мм};$$

$$b_{eff,1} = b_f' = 1760 \text{ мм}; b_{eff,2} = b_f = 1800;$$

$$b_w = b = 492 \text{ мм}$$

Верхня арматура: 17Ø4 Вр-I з кроком 100 мм; $A_{sc} = 214,2 \text{ мм}^2 = 2,1420 \text{ см}^2$.

1. Площа бетонного поперечного перерізу:

$$A_c = b_{eff,1} \cdot h_f' + b_w(h - 2h_f') + b_{eff,2} \cdot h_f$$

$$A_c = 1760 \cdot 39,5 + 492 \cdot (220 - 2 \cdot 39,5) + 1800 \cdot 39,5 = 209\,992 \text{ мм}^2 = 2099,92 \text{ см}^2$$

Площа приведенного поперечного перерізу:

$$A_{red} = A_c + \alpha_{sc} \cdot A_{sc} + \alpha_p \cdot A_p$$

$$A_{red} = 2099,92 + 2,142 \cdot 10,43 + 11,66 \cdot 7,05 = 2204,460 \text{ см}^2$$

2. Статичний момент бетонного перерізу відносно нижньої розтягнутої грані:

$$S_c = b_{eff,1} \cdot h'_f \cdot (h - 0.5h'_f) + b_w(h - 2h'_f) \cdot 0.5h + b_{eff,2} \cdot h_f \cdot 0.5h_f$$

$$S_c = 1760 \cdot 39,5 \cdot (220 - 0,5 \cdot 39,5) + 492 \cdot (220 - 2 \cdot 39,5) \cdot 0,5 \cdot 220$$

$$+ 1800 \cdot 39,5 \cdot 0,5 \cdot 39,5 = 22\,956\,525 \text{ мм}^3 = 22\,956,525 \text{ см}^3$$

Статичний момент приведенного перерізу відносно нижньої розтягнутої грані:

$$S_{red} = S_c + \alpha_{sc} \cdot A_{sc}(h - c_1) + \alpha_p \cdot A_p \cdot c_p$$

$$S_{red} = 22\,956,525 + 10,43 \cdot 2,142 \cdot (22 - 2) + 11,66 \cdot 7,05 \cdot 46 = 27\,184,684 \text{ см}^3$$

3. Відстань від центра ваги бетонного перерізу до нижньої розтягнутої грані:

$$y_{0,c} = \frac{S_c}{A_c} = \frac{22956,525}{2099,92} = 10,93 \text{ см}$$

Відстань від центра ваги приведенного перерізу до нижньої грані:

$$y_{0,red} = \frac{S_{red}}{A_{red}} = \frac{27184,648}{2204,46} = 12,33 \text{ см}$$

4. Значення моменту інерції бетонного перерізу:

$$I_c = \frac{b_{eff,1} \cdot h_f'^3}{12} + b_{eff,1} \cdot h'_f \cdot (y_{0,c} - h + 0,5h'_f)^2 + \frac{b_w(h-2h'_f)^3}{12} + b_w(h - 2h'_f) \cdot$$

$$(y_{0,c} - 0,5h)^2 + \frac{b_{eff,2} \cdot h_f^3}{12} + b_{eff} \cdot h_f \cdot (y_{0,c} - 0,5h_f)^2$$

$$I_c = \frac{1760 \cdot 39,5^3}{12} + 1760 \cdot 39,5 \cdot (10,93 - 220 + 0,5 \cdot 39,5)^2 + \frac{492(220-2 \cdot 39,2)^3}{12} +$$

$$492(220 - 2 \cdot 39,5) \cdot (10,93 - 0,5 \cdot 220)^2 + \frac{1800 \cdot 39,5^3}{12} + 1800 \cdot 39,5 \cdot (10,93 - 0,5 \cdot 39,5)^2 =$$

$$3312837086 \text{ мм}^4 = 331283,7086 \text{ см}^4$$

Значення моменту інерції приведенного перерізу:

$$I_{red} = \frac{b_{eff,1} \cdot h_f'^3}{12} + b_{eff,1} \cdot h'_f \cdot (y_{0,red} - h + 0,5h'_f)^2 + \frac{b_w(h-2h'_f)^3}{12} + b_w(h - 2h'_f) \cdot$$

$$(y_{0,red} - 0,5h)^2 + \frac{b_{eff,2} \cdot h_f^3}{12} + b_{eff} \cdot h_f \cdot (y_{0,red} - 0,5h_f)^2 + \alpha_{sc} \cdot A_{sc} \cdot (y_{0,red} - h + 0,5c_1)^2 +$$

$$\alpha_p \cdot A_p \cdot (y_{0,red} - c_p)^2$$

$$I_{red} = \frac{1760 \cdot 39,5^3}{12} + 1760 \cdot 39,5 \cdot (12,33 - 220 + 0,5 \cdot 39,5)^2 + \frac{492(220 - 2 \cdot 39,5)^3}{12} + 492(220 - 2 \cdot 39,5) \cdot (12,33 - 0,5 \cdot 220)^2 + \frac{1800 \cdot 39,5^3}{12} + 1800 \cdot 39,5 \cdot (12,33 - 0,5 \cdot 39,5)^2 + 10,43 \cdot 214,2 \cdot (12,33 - 220 + 0,5 \cdot 20)^2 + 11,66 \cdot 705 \cdot (12,33 - 46)^2 = 3350536806 \text{ мм}^4 = 335053,68 \text{ см}^4$$

5. Моменти опору приведенного перерізу:

відносно нижньої грані:

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_{0,red}} = 335\,053,68 / 12,33 = 27\,173,90 \text{ см}^3$$

відносно верхньої грані:

$$W'_{red} = \frac{I_{red}}{(h - y_{0,red})} = 335\,053,68 / (22 - 12,33) = 1613,40 \text{ см}^3$$

2.2.3.2 Попереднє напруження та втрати напружень в арматурі

Початкові напруження в арматурі безпосередньо після натягу або передачі призначаються меншим із двох значень:

$$\sigma_{p0m} = 0,75 \cdot f_{pk} \text{ або } \sigma_{p0m} = 0,85 \cdot f_{p0,1k}.$$

$$\sigma_{p0m} = 0,75 \cdot 630 = 472,5 \text{ або } \sigma_{p0m} = 0,85 \cdot 575 = 488,75.$$

Прийнято: $\sigma_{p0m} = 472,5 \text{ МПа}$.

Максимальні напруження при натягуванні арматури обмежуються меншим з двох значень:

$$\sigma_{p,max} = 0,8 \cdot f_{pk} \text{ або } \sigma_{p,max} = 0,9 \cdot f_{p0,1k}.$$

$$\sigma_{p,max} = 0,8 \cdot 630 = 504 \text{ МПа або } \sigma_{p,max} = 0,9 \cdot 575 = 517,5 \text{ МПа}.$$

Приймається $\sigma_{p,max} = 517,5 \text{ МПа}$

Перевірка допустимих меж σ_{p0m} для будь-якого класу арматури:

$$0,3 f_{p0,1k} \leq \sigma_{p0m} \leq \sigma_{p,max}$$

$$0,3 \cdot 575 = 172,5 \leq 472,5 \leq 517,5$$

2.2.3.3 Перевірка несучої здатності багатопустотної попередньо напруженої плити

Якщо нейтральна вісь розташована в полиці, подальший розрахунок ведеться для прямокутного перерізу шириною b_f .

Розрахунковий опір арматури при граничних деформаціях ε_{ud} :

$$f_{pud} = f_{pd} + \left(\frac{f_{pk}}{\gamma_s} - f_{pd} \right) \frac{\varepsilon_{ud} - \varepsilon_{p0}}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_{p0}}.$$

$$f_{pud} = f_{pd} + \left(\frac{f_{pk}}{\gamma_s} - f_{pd} \right) \frac{\varepsilon_{st} - \varepsilon_{p0}}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_{p0}} = 472,5 + \left(\frac{630}{1.2} - 479,5 \right) \frac{0.018 - 0.0024}{0.02 - 0.0024} = 934,66 \text{ МПа}$$

Величина відносної висоти стиснутої зони:

$$\xi = \frac{A_p f_{pud}}{0.5(1+k) f_{cd} b d}$$

$$\xi = \frac{705 \cdot 934,66}{0.5(1+k) 8.5 \cdot 1760 \cdot 174} = 0.275$$

встановлюємо область деформування перерізу при знайденому ξ

1. Якщо $\xi_{b,p} = \frac{\varepsilon_{cu3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd} + \varepsilon_{ud} - \varepsilon_p} < \xi \leq \xi_{lim,p} = \frac{\varepsilon_{cu3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd} + \varepsilon_{p0} - \varepsilon_p}$, то переріз працює в

області деформації 2

$$\xi_{b,p} = \frac{3.33}{3.33 + 18} = 0.156 < \xi = 0.275 \leq \xi_{lim,p} = \frac{3.33}{3.33 + 2.4} = 0.58$$

Визначаємо коефіцієнти білінійної епюри k і β .

$$k = \frac{\varepsilon_{cu3,cd} - \varepsilon_{c3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd}} ;$$

$$\beta = \frac{k^2 + k + 1}{3(1+k)} .$$

Висота стиснутої зони становить:

$$X = \frac{p}{2} - \sqrt{\frac{p^2}{4} + q} ,$$

$$\text{де } p = \frac{A_p (f_{pd} - t_2 (\varepsilon_{cu3,cd} + \varepsilon_{p0}))}{t_1} ; \quad q = \frac{A_p t_2 d \varepsilon_{cu3,cd}}{t_1} ;$$

$$t_1 = 0.5(1+k)f_{cd}b; \quad t_2 = \frac{f_{pk}/\gamma_s - f_{pd}}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_{p0}}.$$

$$t_2 = \frac{f_{pk}/\gamma_s - f_{pd}}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_{p0}} = \frac{630 - 479,2}{0.017} = 8568,2$$

$$t_1 = 0.5(1+k)f_{cd}b = 0.5 \cdot 1.843 \cdot 8.5 \cdot 1760 = 13785,64$$

$$q = \frac{A_p t_2 d \varepsilon_{cu3,cd}}{t_1} = \frac{705 \cdot 8568,2 \cdot 174 \cdot 0.00333}{13785,64} = 253,89$$

$$p = \frac{A_p (f_{pd} - t_2 (\varepsilon_{cu3,cd} + \varepsilon_{p0}))}{t_1} = \frac{705(479,2 - 8568,2 \cdot 5.73 \cdot 10^{-3})}{13785,64} = 22$$

$$X = \frac{p}{2} - \sqrt{\frac{p^2}{4} + q} = \frac{22}{2} - \sqrt{\frac{22^2}{4} + 253,89} = 30,36$$

Уточнюється значення відносної висоти стиснутої зони:

$$\xi = \frac{X_p}{d} = 30.36 / 174 = 0.175$$

Перевіряється, розташування уточненого значення ξ , якщо нове значення знаходиться в області деформації 2 ($\xi_{b,p} < \xi \leq \xi_{lim,p}$).

Визначається несуча здатність перерізу:

$$M_{Rd} = 0.5(1+k)\xi(1-\beta\xi)f_{cd}bd^2 = 67,14$$

$$67,14 \geq 59,2$$

перевіряється умова міцності $M_{Ed} \leq M_{Rd}$. Умова виконалася, то прийняте армування достатнє для сприйняття зовнішнього навантаження A_p .

2.2.3.4 Розрахунок багатопустотної плити на утворення тріщин

Перевірка тріщиностійкості виконується за умови досягнення деформаціями крайнього розтягнутого волокна бетону граничного значення ε_{cti} :

$$\varepsilon_{cti} = -2f_{ctm}/E_{ck}.$$

де f_{ctm} — середнє значення міцності бетону на осьовий розтяг;

E_{ck} — характеристичний модуль пружності.

Розрахунок ґрунтується на рівняннях рівноваги зовнішніх і внутрішніх зусиль, умовах деформування та діаграмах стану матеріалів з урахуванням усіх видів впливів, включаючи усадку та попереднє напруження.

Допускається використання діаграми стану бетону як ідеального пружно-пластичного матеріалу.

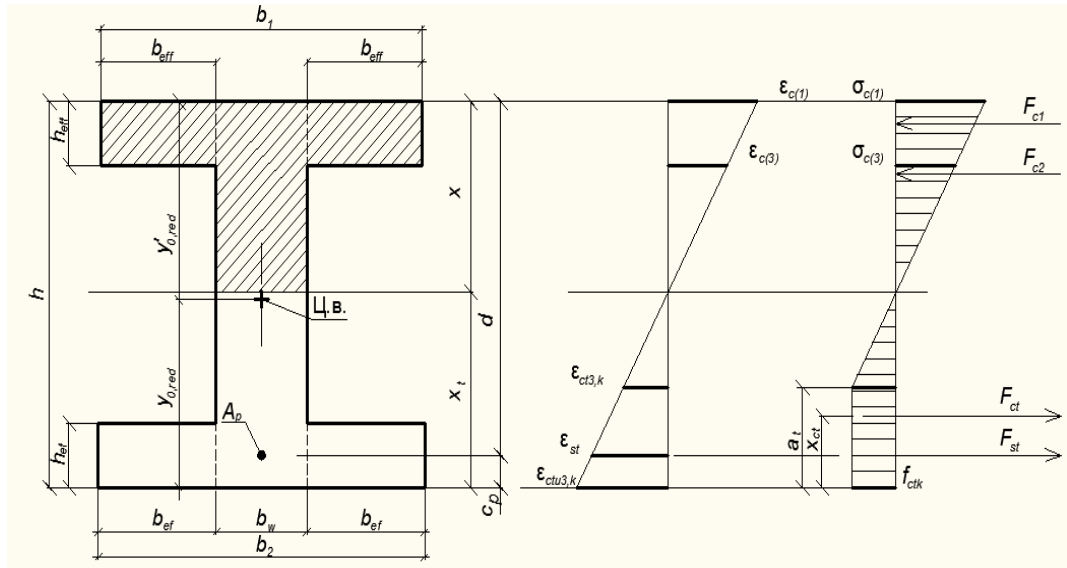


Рисунок 2.2.2 – До оцінки напружено-деформованого стану

Коефіцієнт прямокутної частини двохлінійної епюри напружень у розтягнутій зоні:

$$k_t = \frac{\epsilon_{ctu3,k} - \epsilon_{ct3,k}}{\epsilon_{ctu3,k}}$$

$$k_t = \frac{0.22 - 0.11}{0.22} = 0.5$$

$$a_t = k_t X_t = k_t (h - X).$$

$$a_t = k_t X_t = 0.5(220 - 30.36) = 94,82$$

Коефіцієнт положення центра ваги цієї епюри:

$$\beta_t = \frac{k_t^2 + k_t + 1}{3(1 + k_t)} = \frac{0.5^2 + 0.5 + 1}{3(1 + 0.5)} = 0.389$$

Коефіцієнти квадратного рівняння для висоти стиснутої зони:

$$\begin{aligned}
p &= \frac{\varepsilon_{ctu3,k} (2h_{eff} b_{eff} E_{ck} + A_p E_p) + f_{ctk} (b_w h (k_t + 1) + 2b_{ef} h_{ef})}{0,5b_w [f_{ctk} (k_t + 1) - E_{ck} \varepsilon_{ctu3,k}]} = \\
&= \frac{22 \cdot 10^{-5} (2 \cdot 39,5 \cdot 1760 \cdot 20 \cdot 10^3 + 705 \cdot 190 \cdot 10^3) + 2,0 \cdot (492 \cdot 220 \cdot 1,5 + 2 \cdot 39,5 \cdot 1760)}{0,5 \cdot 492 \cdot (2,0 \cdot 1,5 - 20 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-5})} = \\
&= -3612,2 \\
q &= \frac{\varepsilon_{ctu3,k} (h_{eff}^2 b_{eff} E_{ck} + A_p E_p d) + 0,5h f_{ctk} (4b_{ef} h_{ef} + b_w h (k_t + 1))}{0,5b_w [E_{ck} \varepsilon_{ctu3,k} - f_{ctk} (k_t + 1)]} = \\
&= \frac{11 \cdot 10^{-5} \cdot (39,5^2 \cdot 1760 \cdot 20000 + 705 \cdot 190000 \cdot 174 + 0,5 \cdot 220 \cdot 2,0 (4 \cdot 39,5 \cdot 1760 + 492 \cdot 220 \cdot 1,5))}{0,5 \cdot 492 \cdot (20000 \cdot 11 \cdot 10^{-5} - 2,0 \cdot 1,5)} = \\
&= -43779
\end{aligned}$$

де граничні відносні деформації:

$$\varepsilon_{ctu3,k} = -2f_{ctk} / E_{ck} = 2,2/20 = 0,11\%, \quad f_{ck} = f_{ck,prism}.$$

$$\varepsilon_{ct3,k} = -f_{ctk} / E_{ck} = 0,055\%$$

Визначаємо висоту стиснутої зони

$$X = \frac{p}{2} - \sqrt{\frac{p^2}{4} + q},$$

Визначаються деформація та напруження у зоні розтягнутої арматури:

$$\varepsilon_{st} = \frac{\varepsilon_{ctu3,k} (d - X)}{h - X} \quad \text{та} \quad \sigma_{st} = \varepsilon_{st} E_p.$$

Значення деформації та напруження стиснутого бетону

$$\varepsilon_{c(1)} = \frac{\varepsilon_{ctu3,k} X}{h - X} \quad \text{та} \quad \sigma_{c(1)} = \varepsilon_{c(1)} E_{ck}.$$

$$\varepsilon_{c(3)} = \frac{\varepsilon_{ctu3,k} (X - h_{eff})}{h - X} \quad \text{та} \quad \sigma_{c(3)} = \varepsilon_{c(3)} E_{ck}.$$

Визначається несуча здатність перерізу

$$\begin{aligned}
M_{Rk} &= b_w X \sigma_{c(1)} (h - y_{0,red} - X/3) + 2h_{eff} \cdot b_{eff} \sigma_{c(3)} (h - y_{0,red} - 0,5h_{eff}) + \\
&+ h_{eff} \cdot b_{eff} (\sigma_{c(1)} - \sigma_{c(3)}) (h - y_{0,red} - h_{eff}/3) - A_p \sigma_{st} (y_{0,red} - c_p) - \\
&- 0,5 f_{ctk} (b_{ef} h_{ef} + (h - X)(k_t + 1) b_w) (y_{0,red} - \beta_t (h - X))
\end{aligned}$$

Визначається момент тріщиноутворення

$$M_{crc} = M_{Rk} + P_{m,t}(x) z_{cp},$$

$P_{m,t}(x)$ - середнє значення сили попереднього напруження з врахуванням усіх втрат; $z_{cp} = y_{0,red} - c_p$ - відстань між центром ваги приведенного перерізу і попередньо напруженою арматурою.

Перевірка тріщиностійкості

$$M_{Ek} \leq M_{crc},$$

де M_{Ek} - є момент від характеристичного повного (постійного, тривалого та змінного) навантаження. Якщо умова виконується — тріщини не утворюються.

2.2.3.5 Розрахунок за розкриттям тріщин

Коефіцієнти двохлінійної епюри напружень у стиснутій зоні:

$$k = \frac{\varepsilon_{cu3,ck} - \varepsilon_{c3,ck}}{\varepsilon_{cu3,ck}} = 0.843;$$

$$\beta = \frac{k^2 + k + 1}{3(1 + k)} = 0.462.$$

Знаходиться значення коефіцієнта α_m

$$\alpha_m = \frac{M_{Ek}}{b f_{ck} d^2} = \frac{60,67}{1.760 \cdot 15000 \cdot 0.174^2} = 0.08$$

Порівнюємо його зі знайденими граничними значеннями.

$$\alpha_{mb} = 0.5(1 + k)\xi_{b,p}(1 - \beta\xi_{b,p}) = 0.178 < \alpha_m = 0.183 \leq 0.79$$

$$\alpha_{m,lim,p} = 0.5(1 + k)\xi_{lim,p}(1 - \beta\xi_{lim,p}),$$

де

$$\xi_{b,p} = \frac{\varepsilon_{cu3,ck}}{\varepsilon_{cu3,ck} + \varepsilon_{uk} - \varepsilon_p} = 0.22, \quad \xi_{lim,p} = \frac{\varepsilon_{cu3,ck}}{\varepsilon_{cu3,ck} + \varepsilon_{p0,k} - \varepsilon_p} =, \quad \varepsilon_{p0,k} = f_{p0,1k} / E_p.$$

Фактичне значення відносної висоти стиснутої зони ξ порівнюється з граничними. коефіцієнт η (відносне плече внутрішньої пари сил) буде

$$\eta = \frac{z_c}{d} = 0.5 + \sqrt{0.25 - \frac{2\beta\alpha_m}{1 + k}} = 0.9;$$

- За співвідношенням, визначаємо

$$x = d(1 - \eta) / \beta = 41.9 ;$$

- Знаходяться значення деформації

$$\varepsilon_{st} = \frac{\varepsilon_{cu3,ck}(d - x)}{x} = 12.1 ;$$

- Перевіряється виконання умови

$$\varepsilon_{p0,k} \leq \varepsilon_{st} \leq \varepsilon_{uk} .$$

$$5 \leq 12.1 \leq 16.2$$

- Визначається значення напруження відповідні деформаціям ε_{st}

$$\sigma_{pk} = f_{p0,1k} + (f_{pk} - f_{p0,1k}) \frac{\varepsilon_{st} - \varepsilon_{p0,k}}{\varepsilon_{uk} - \varepsilon_{p0,k}} = 575 + (630 - 575) \frac{12.1 - 5}{18 - 5} = 1015 \text{ МПа};$$

2.2.3.6 Перевірка прогинів розрахунком

Розрахунок за деформаціями виконується з умови, що прогин f від зовнішнього навантаження не перевищує граничного значення f_u :

$$f \leq f_u$$

Граничні прогини f_u призначаються за ДСТУ Б В.12-3:2006. При дії постійних, тривалих і короткочасних навантажень прогин в усіх випадках не повинен перевищувати 1/150 прольоту. Якщо прогин перевищує 1/250 прольоту — зовнішній вигляд і функціональне використання конструкції погіршуються.

Кривизна перерізу, отримана за деформаційною методикою:

$$\frac{1}{r} = \frac{(\varepsilon_{c(1)} - \varepsilon_{c(2)})}{h} = 0.023 ,$$

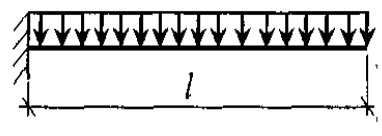
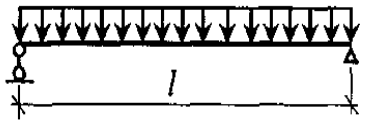
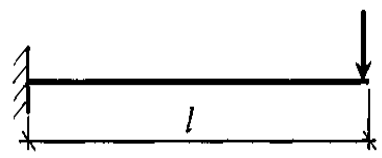
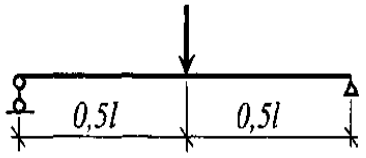
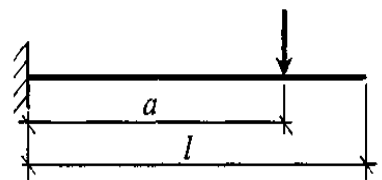
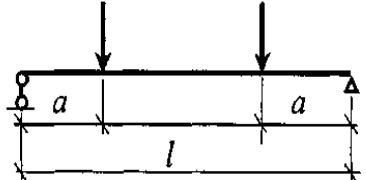
де ε_c — деформація бетону стиснутої фібри; $\varepsilon_{sm} = 0,029$ — осереднені деформації розтягнутої фібри бетону.

Для статично визначених елементів постійного перерізу, що працюють за балковою схемою, прогин визначається за формулою:

$$f = \frac{1}{r} k_m l^2 = 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{5}{48} \cdot 5.647^2 = 7,6 \cdot 10^{-5}$$

де k — коефіцієнт, що залежить від форми епюри кривизни (за табл. 3.3.6.1).

Таблиця 2.2.1 — Значення коефіцієнта k

Схема навантаження консольної балки	Коефіцієнт k_m	Схема навантаження консольної балки	Коефіцієнт k_m
	$\frac{1}{4}$		$\frac{5}{48}$
	$\frac{1}{3}$		$\frac{1}{12}$
	$\frac{a}{6l} \left(3 - \frac{a}{l} \right)$		$\frac{1}{8} - \frac{a^2}{6l^2}$

Граничний прогин для даної конструкції:

$$f_u = l_0 / 200 = 4200 / 200 = 21 \text{ мм} = 0,021 \text{ м}$$

Умова задовольняється, якщо: $f \leq f_u = 21 \text{ мм}$.

Розділ 3 Технологічні рішення та організація будівництва

3.1 Підготовка до будівництва

Відповідно до вимог ДБН А3.1-5-2016 «Організація будівельного виробництва» [16], перед початком виконання основних будівельних робіт на об'єкті необхідно здійснити комплекс підготовчих заходів:

- реалізація необхідних організаційно-фінансових рішень;
- формування геодезичної розбивочної основи будівельного майданчика;
- підготовка та очищення будівельної ділянки;
- вертикальне планування та підготовка рельєфу;
- зведення захисного огороження майданчика, демонтаж наявних будівель і споруд;
- спорудження тимчасових об'єктів будівельної інфраструктури;
- зведення передбачених проектом постійних споруд, що будуть задіяні в будівельному процесі;
- влаштування під'їзних транспортних шляхів;
- організація складування будівельних матеріалів та конструкцій;
- прокладення тимчасових інженерних мереж;
- підготовка виконавчої та проектно-технологічної документації.

Зведення 16-поверхового багатоквартирного житлового будинку здійснюється на освоєній міській території житлового мікрорайону м. Полтава. Будівельна ділянка незабудована. Геологічні умови майданчика: суглинки, рівень ґрунтових вод значно нижчий за позначку підшви фундаменту та відмітку прокладення інженерних мереж.

У безпосередній близькості до майданчика розташована трансформаторна підстанція, що забезпечує електропостачання будівельного обладнання: баштового крана, зварювального устаткування, підйомних механізмів, малярних і штукатурних станцій, мережі технологічного освітлення.

У будівельний період для транспортування матеріалів та конструкцій задіяна існуюча автодорога з постійним покриттям. Технічне та господарське

водопостачання здійснюється від міської водопровідної мережі. Пожежний гідрант підключений до постійного водопроводу. Відведення санітарно-побутових стоків тимчасових споруд забезпечується шляхом підключення до міської каналізаційної мережі.

Доставка будівельних матеріалів і збірних конструкцій на майданчик здійснюється автомобільним транспортом.

Виконання робіт передбачено в теплий сезон, що унеможливило необхідність розробки додаткових заходів щодо захисту від низькотемпературного впливу. Освітлення майданчика в нічний час забезпечується прожекторними установками на кутових опорах; робочі зони підсвічуються вишками відповідно до нормативних вимог.

На час будівництва майданчик огорожується суцільним дерев'яним парканом заввишки не менше 2 м.

Монтажні роботи з надземної частини будинку виконуються краном М-3-5-10 у двозмінному режимі.

3.2 Вибір організаційно-технологічної схеми будівництва

З метою забезпечення рівномірного випуску будівельної продукції та збалансованого використання трудових і матеріальних ресурсів виконання всіх робіт на об'єкті рекомендується організувати поточним методом із максимальним суміщенням окремих потоків і видів робіт у часі [17 -19].

Поточний метод організації виробництва передбачає ритмічне й безперервне здійснення будівельних процесів протягом усього зведення будівлі, при якому постійний склад виконавців, оснащених необхідними засобами виробництва, виконує однорідні технологічні операції.

Проектування організації будівельного виробництва спрямоване на формування умов для своєчасного освоєння об'єкта та досягнення високих виробничих показників. Потоковим методом називають спосіб організації будівництва, що забезпечує планомірний і ритмічний випуск продукції завдяки

безперервній роботі трудових колективів незмінного складу, що комплексно та своєчасно забезпечуються матеріально-технічними ресурсами.

Реалізація потокового виробництва в будівництві передбачає:

- ідентифікацію об'єктів зі схожими об'ємно-планувальними й конструктивними рішеннями та технологіями зведення; поділ виробничого процесу на окремі роботи, переважно рівні або кратні за трудомісткістю;
- визначення раціональної черговості виконання робіт та об'єднання взаємопов'язаних процесів у загальний виробничий потік, синхронізація яких забезпечує безперервність будівництва;
- закріплення конкретних видів робіт за спеціалізованими бригадами, установлення порядку включення об'єктів у потік і переміщення бригад між захватками;
- розрахунок основних параметрів потоку з урахуванням ступеня завантаженості виконавців і узгодженості тривалості окремих процесів із кількістю провідних машин і бригад;
- визначення послідовності переведення провідних машин і бригад на нові об'єкти відповідно до запланованого ритму виробництва.

Потокове виробництво як форма організації характеризується ритмічним повторенням виробничих операцій на спеціалізованих робочих місцях, розміщених вздовж технологічного ланцюга.

До характерних ознак потокового методу належать:

- зведення номенклатури продукції до мінімально необхідної;
- дроблення виробничого процесу на окремі операції;
- спеціалізація кожного робочого місця на виконанні певного виду робіт;
- одночасне виконання операцій на всіх ланках потоку;
- розташування обладнання згідно із технологічною послідовністю процесів;
- забезпечення безперервності виробничого процесу шляхом досягнення рівності або кратності тривалості операцій такту потоку;

— застосування спеціалізованого міжопераційного транспорту для переміщення предметів праці між операціями.

3.3 Визначення обсягів робіт

Підрахунок обсягів робіт здійснено відповідно до вимог КНУ РЕКНБ [20]; результати зведено у відомість обсягів робіт.

На підставі розрахованих обсягів встановлено трудомісткість, потребу в машинах, будівельних виробках, конструкціях та матеріалах; обчислено кошторисну вартість будівельно-монтажних робіт, розраховано техніко-економічні показники, прийнято рішення щодо методів виконання робіт.

Увесь комплекс робіт основного будівельного циклу згруповано за технологічними циклами [21]. Перелік і обсяги робіт систематизовано у відомостях визначення номенклатури (табл. 3.1); на окремі види робіт відомості складено із зазначенням ескізів та розрахункових формул.

Таблиця 3.1 Відомість обсягів робіт

№ п/п	Найменування робіт	Одиниця виміру	Всього
1	Підготовчий період	дн.	22
2	Планування майданчика бульдозером потужністю 108 л.с.	м ²	1908.160
3	Зрізка рослинного шару бульдозером потужністю 108 л.с.	м ³	125.8
4	Розробка ґрунту екскаватором зворотня лопата у відвал	м ³	327.570
5	Розробка ґрунту екскаватором зворотня лопата з завантаженням у самоскид	м ³	628.840
6	Механізована обробка ґрунту (зрізка недобору)	м ³	62.920
7	Улаштування піщаної підготовки під фундаменти	м ³	38.480
8	Зворотня засипка ґрунту бульдозером	м ³	294.80
9	Зворотня засипка ґрунту вручну	м ³	32.760
10	Монтаж фундаментних блок-подушок	шт	104
11	Улаштування горизонтальної гідроізоляції з 2-х шарів руберойду	м ²	134.670
12	Монтаж стін підвалу з фундаментних блоків	шт	396
13	Цегляна кладка цокольної частини	м ³	45.580
14	Монтаж сходових маршів. площадок (підземні приміщення)	шт	2
15	Улаштування бетонної підготовки під підлогу	м ³	39.920
16	Улаштування бетонної підлоги підвалу	м ²	392.169
17	Монтаж плит перекриття над підвалом	шт	60

18	Улаштування вертикальної обмазочної гідроізоляції	м²	126.69
19	Вапняне фарбування стін і стелі підвалу	м²	1148.89
20	Цегляна кладка зовнішніх стін	м³	1371.19
21	Цегляна кладка внутрішніх стін та стін ліфтової шахти	м³	1286.20
22	Монтаж перемичок	шт	1188
23	Мурування стін	м³	35.080
24	Мурування перегородок	м²	2652.960
25	Монтаж сходових площадок	шт	21
26	Монтаж сходових маршів	шт	20
27	Монтаж плит перекриття	шт	600
28	Монтаж балконних плит та лоджій	шт	66
29	Установка сходових огорожень	м	54
30	Монтаж плит покриття з багатопустотних плит перекриття	шт	61
31	Улаштування гідроізоляції по балконах та лоджіях	м²	337.4
32	Улаштування стяжки по балконах та лоджіях	м²	337.4
33	Заповнення віконних прорізів	м²	396.7
34	Заповнення дверних прорізів блоками	шт	411
35	Заповнення дверних прорізів балконів та лоджій	м²	117.60
36	Улаштування прокладної пароізоляції в один шар на перекриттях	м²	529.4
37	Укладання утеплювача з плит пінопласту полістирольного	м²	529.4
38	Улаштування цементно-піщаної стяжки	м²	529.4
39	Наклейка 2-х шарового килиму з акваізолу	м²	529.4
40	Обробка примикань покрівельною сталлю	м	105.64
41	Утеплення фасаду мінераловатними плитами за системою CERESIT	м²	2688.64
42	Утеплення основи підлоги 1-го поверху по плитах перекриття над підвалом плитним пінопластом насухо	м³	29.650
43	Улаштування цементно-піщаної стяжки під підлогу	м²	2965.40
44	Улаштування самовирівнюючої стяжки на 1–10 поверхах	м²	2965.40
45	Улаштування підлоги 1-го поверху з ламінату	м²	296.540
46	Улаштування підлоги з лінолеуму	м²	2668.860
47	Оздоблення стелі	м²	4198.730
48	Штукатурення стін з цегли гіпсовими сумішами	м²	9458.33
49	Оздоблення під обклеювання шпалерами стін і перегородок з газоблоків	м²	3003.759
50	Поліпшене водоемульсійне фарбування стель	м²	3571.59
51	Облицювання стін керамічною плиткою в санвузлах та кухнях	м²	1419.110
52	Улаштування підлоги з керамічної плитки	м²	1093.0
53	Просте водоемульсійне фарбування стелі сходових кліток	м²	551.13
54	Просте водоемульсійне фарбування стін сходових кліток	м²	918.1

55	Покращене масляне фарбування сходових огорожень	м ²	59.4
56	Обклеювання стін тисненими шпалерами	м ²	10124.88
57	Улаштування основи під вимощення	м ³	10.56
58	Покриття вимощення асфальтом	м ²	105.64
59	Благоустрій території	дн.	72
60	Інші не враховані роботи	дн.	137
61	Улаштування водопроводу і каналізації	м ³	16778.99
62	Улаштування опалення і вентиляції	м ³	16778.99
63	Електромонтажні роботи	м ³	16778.99
64	Газифікація	м ³	16778.99
65	Слабострумні мережі	м ³	16778.99

3.4 Методи виконання робіт

Вибір методів виконання будівельних робіт базується на засадах комплексної механізації із залученням сучасного високопродуктивного обладнання, монтажного оснащення, пристроїв та риштувань. Застосовуються передові технологічні прийоми, прогресивні форми організації праці, засоби малої механізації; пріоритетом є забезпечення нормативної якості. Вибір методів і машин здійснюється на підставі типових технологічних карт, карт трудових процесів та довідкової літератури.

При виконанні земляних робіт вибір машин визначається виробничими умовами та обсягами робіт. Планування майданчика й зрізання рослинного шару виконуються бульдозером ДЗ 8. Розроблення котловану здійснюється екскаватором із зворотною лопатою місткістю ковша 0,65 м³; надлишковий ґрунт вивозиться автосамоскидами вантажопідйомністю 7 т. Гідроізоляційні роботи виконуються із застосуванням авто гудронатора. Ущільнення ґрунту під час зворотної засипки здійснюється пневматичними трамбуванками. Для укладання бетонної підготовки під підлогу задіяні бетононасоси; ущільнення бетонної суміші забезпечується за допомогою віброрейок.

Монтаж конструкцій нульового циклу провадиться самохідним стріловим гусеничним краном. Для зведення надземної частини будівлі виконується обґрунтований вибір баштового крана.

При влаштуванні покрівлі передбачається використання спеціальних установок для подавання мастики, форсунок і відповідного монтажного інструменту.

На штукатурних і малярних роботах застосовуються штукатурна та малярна станції, спеціалізовані інструменти та засоби малої механізації.

На будівельному майданчику організовуються спеціалізовані заготівельні майстерні.

На підставі обраних методів і встановлених обсягів робіт визначається трудомісткість, розробляється календарний графік виконання робіт, розраховуються його техніко-економічні показники та формуються графіки постачання матеріалів і конструкцій.

Кількість машино-змін і перелік будівельних машин та механізмів, необхідних для реалізації будівельних процесів даного об'єкта, встановлюються відповідно до ДБН Д-2-99 та техніко-економічного обґрунтування. Потреба в машинах визначається розрахунковою кількістю машино-змін з урахуванням потоку робіт за календарним графіком.

3.5 Вибір будівельних машин і механізмів

3.5.1 Вибір монтажного крана

Вибір баштового крана зумовлюється габаритами будівлі, масою й розмірами монтажних елементів, а також загальними обсягами монтажних робіт.

Для обґрунтованого підбору баштового крана визначаються такі технічні параметри:

- необхідна вантажопідйомність;
- необхідний виліт стріли;
- висота підйому гака.

Необхідна вантажопідйомність встановлюється за умовами підймання найважчих конструктивних елементів з урахуванням маси такелажних пристроїв (стропів).

$$\text{Монтажна маса: } Q = Q_{\text{ел}} + Q_{\text{стр}}$$

Маса найважчого елемента $Q_{\text{ел}} = 2,95$ т

Маса монтажних пристосувань $Q_{\text{стр}} = 0,03$ т

$$Q = 2,95 + 0,03 = 2,98 \text{ т}$$

Висота підйому гака складається з проєктної відмітки верхнього перекриття будівлі, технологічного запасу на наведення елемента, висоти самого монтажного елемента та довжини стропів або захоплюючого пристрою.

$$H_{\text{кр}} = 32,91 \text{ м} + 0,5 \text{ м} + 0,22 \text{ м} + 2,5 \text{ м} = 36,13 \text{ м}$$

Виліт стріли крана визначається радіусом охоплення монтажною зоною й відповідає відстані від осі обертання крана до центра ваги монтованого елемента.

$$L_{\text{стр}} = 15,6 \text{ м} + 4,0 \text{ м} + 3,0 \text{ м} = 22,6 \text{ м}$$

За результатами розрахунків до виконання монтажних робіт приймається баштовий кран КБ-503.

Технічні параметри крана:

- Вантажопідйомність – 10 т;
- Виліт стріли – max 35,0 м, min 7,5 м;
- Висота підйому гака – до 67,5 м.

3.5.2 Вибір машин і механізмів

Машини і механізми	Од. вим.	Кількість
Бульдозер ДЗ 8	шт.	1
Екскаватор	шт.	1
Гусеничний кран	шт.	1
Баштовий кран КБ-503	шт.	1
Штукатурна машина	шт.	6

3.6 Технологічна карта

У складі проєкту розроблено технологічну карту на виконання цегляної кладки стін відповідно до чинних ДБН і нормативно-правових актів України.

Для зведення будівлі в м. Полтава передбачається виконання таких робіт:

- монтаж інвентарних риштувань для ведення цегляної кладки;
- мурування зовнішніх несучих стін завтовшки 510 мм;
- мурування внутрішніх несучих стін завтовшки 250 мм;
- мурування ненесучих внутрішніх стін завтовшки 250 мм;
- мурування армованих перегородок завтовшки 120 мм;

- монтаж перемичок масою до 0,3 т;
- монтаж монолітних сходів;
- укладання плит перекриття з обпиранням на дві сторони.

3.6.1 Загальні відомості та умови виконання

Будинок налічує 16 поверхів; за конструктивною схемою є безкаркасним із поздовжніми та поперечними несучими стінами.

Зовнішні та внутрішні несучі стіни зведені з керамічної цегли розміром $250 \times 120 \times 65$ мм. Товщина зовнішніх і внутрішніх несучих стін становить 770 і 640 мм.

Перегородки виконуються також із цегли зазначеного типорозміру завтовшки 120 мм.

Ведення кладки здійснюється ланками мулярів із застосуванням ланцюгової системи перев'язки швів; марка цегли – 100, марка розчину – 50.

3.6.2 Технологія і організація ведення технологічного процесу

Для забезпечення безперервного фронту робіт мулярів об'єкт розбивається на захватки, а захватки – на ділянки. За системою захваток на одній ведеться кладка, тоді як на суміжній укладаються плити перекриття або встановлюються риштування. Оскільки виконати кладку стін на всю висоту поверху з одного рівня неможливо, роботи провадяться ярусами.

Цементний розчин доставляється на будівельний майданчик автосамоскидами або авторозчиновозами, після чого вивантажується в бункери, спеціальні ємності чи ящики, які краном подаються на робоче місце.

Перед початком кладки в кутах і місцях перетину стін, а також на межах ділянок виставляються порядовки. Кладка ведеться по причалках, натягнутих між відповідними ділильними відмітками порядовок.

Цегляна кладка виконується з перекриттів, інвентарних помостів або настилів риштування. Риштування та помости встановлюються на попередньо

очищені й вирівняні поверхні; основа під ними повинна бути щільно утрамбована.

Перевантаження риштувань і помостів матеріалами понад розрахункові значення навантаження забороняється; скупчення матеріалів в одному місці не допускається. Розміщення матеріалів організовується таким чином, щоб не перешкоджати пересуванню робітників і переміщенню вантажів.

3.6.3 Вибір основних механізмів, інструментів та пристроїв

Для подачі цегли та розчину на робоче місце використовується баштовий кран КБ-503, технічні характеристики якого відповідають усім розрахунковим вимогам.

Виконання кладки забезпечується таким комплектом механізмів, інструментів і пристроїв (табл. 3.2):

Таблиця 3.2. Перелік механізмів, інструментів та пристроїв

№ п/п	Найменування	Марка	Од. вим.	Кількість
1	Кран баштовий	КБ-503	шт	2
2	Агрегат для подачі та перемішування розчину	—	шт	1
3	Рейка-порядовка	—	шт	1
4	Молоток-кулачок	МКУ-2	шт	2
5	Молоток-кирочка	МКУ-2	шт	10
6	Шаблон для встановлення сходових маршів	—	шт	1
7	Лопатка для розчинів	ЛР	шт	16
8	Ящик монтажний	ЛМ-24	шт	3
9	Кельма	КБ	шт	28
10	Розшивки сталі	РВ1/РВ2	шт	10
11	Сокира будівельна	А2	шт	2
12	Ножівка по дереву	—	шт	2
13	Рейка контрольна завдовжки 2 м	—	шт	6
14	Шнур для розмічування в корпусі	—	шт	4
15	Висок сталі будівельний	ОТ-600	шт	10
16	Рівень будівельний	УСЗ-500	шт	2
17	Кутник для кам'яних робіт	—	шт	2
18	Правило дюралюмінієве	—	шт	10
19	Рулетка металева вимірювальна	ЗПКЗ-20АУТ/1	шт	1
20	Метр складний металевий	—	шт	10
21	Шнур причальний завдовжки 15–30 м	—	шт	8

22	Бункер з секторним захватом для подачі розчину 1 м ³	—	шт	1
23	Ящик для розчину місткістю 1 м ³	—	шт	2

3.6.4 Вимоги до якості робіт

Контроль якості кладки

Кладка мусить відповідати встановленим нормативним допускам, дотримання яких є обов'язковою умовою забезпечення якості:

- гранично допустиме відхилення стін від проєктної товщини – 15 мм;
- допустиме відхилення поверхні стіни від вертикалі – 10 мм;
- відхилення рядів кладки від горизонталі не повинно перевищувати 7 мм на 5 м довжини;
- нерівності на вертикальній поверхні стіни при накладанні рейки завдовжки 2 м – не більше 10 мм;
- розбіжність у відмітках верхніх поверхонь стін – у межах 10 мм;
- відхилення товщини швів кладки: горизонтальних – +3 мм / –2 мм, вертикальних – +2 мм / –2 мм.

Для бутової кладки встановлені розширені допуски:

- за товщиною конструкції – до 30 мм в обидва боки для фундаменту та до 20 мм – для стін;
- за відмітками опорних поверхонь – 25 мм для фундаменту, 15 мм – для стін;
- за відхиленням поверхні від вертикалі – 20 мм;
- за відхиленням рядів від горизонталі на 5 м – 15 мм для фундаменту, 10 мм – для стін;
- за нерівностями поверхні при перевірці рейкою завдовжки 2 м – 15 мм.

Прямокутність кутів перевіряється дерев'яним трикутником. Горизонтальність рядів контролюється правилом із будівельним рівнем. Виявлені відхилення усуваються в процесі укладання наступних рядів. Вертикальність стін перевіряється схилом не рідше двох разів на кожний метр висоти кладки.

3.6.5 Охорона праці при виконанні кам'яних робіт

Підмості, що застосовуються при виконанні кам'яних робіт, повинні мати достатню несучу здатність, стійкість і міцність. Мінімальна ширина підмостей – 2 м; їх неодмінно обладнують огороженням заввишки не менше 1,1 м.

За умови виконання кам'яних робіт у котловані для забезпечення доступу робітників улаштовуються трапи. Скидання цегли, каменю, розчину з тачок у котлован з бровки категорично забороняється.

Подача цегли та розчину на робочі місця здійснюється механізованим способом. Транспортування штучних матеріалів – цегли, дрібних блоків – підйомними кранами повинне провадитись виключно з використанням інвентарних піддонів, контейнерів і вантажозахоплювальних пристроїв, що унеможливають падіння елементів під час підймання, розпакування та підготовки до укладання.

При зведенні зовнішніх стін будівлі обов'язковим є встановлення зовнішніх захисних козирків у формі суцільного настилу шириною 1,5 м з нахилом до стіни так, щоб кут між нижньою частиною стіни та козирком становив 20°. Кронштейни для козирків кріпляться в стіні з кроком 3 м.

Перший ярус козирків монтується на висоті 6 м від поверхні землі і зберігається до повного виведення стін на проєктну висоту; другий ярус установлюється на 6–7 м вище першого та надалі переставляється через кожні 6–7 м по висоті. Робітники, задіяні в монтажі та демонтажі козирків, зобов'язані використовувати запобіжні пояси. Використання козирків як робочих підмостей або площадок для складування матеріалів забороняється. Над входами до будівлі встановлюються навіси розміром 2×2 м.

Кладка стін кожного наступного поверху багатоповерхового будинку може розпочинатися лише після монтажу конструкцій міжповерхового перекриття, а також площадок і маршів сходових кліток відповідного поверху.

Перебування робітників на стіні при її товщині менше 75 см забороняється.

Розшивання зовнішніх швів цегляного мурування виконується з перекриття або риштувань після укладання кожного ряду. Виконання цієї операції безпосередньо зі щойно зведеної стіни категорично заборонено.

Розділ 4 Охорона праці

4.1 Забезпечення охорони праці на законодавчому рівні

Організація безпечних умов праці під час спорудження житлових будівель належить до пріоритетних завдань будівельного виробництва. Реалізація проєкту зі зведення 16-поверхового житлового будинку в місті Полтава повинна здійснюватися відповідно до чинної нормативно-правової бази України, яка регламентує вимоги щодо безпеки праці, організації будівельних процесів та захисту працівників. При розробці розділу використовувалися рекомендовані навчальні посібники з охорони праці [22, 23].

Правові засади функціонування системи охорони праці визначаються Конституцією України, Кодексом законів про працю, Законом України «Про охорону праці» та Законом України «Про регулювання містобудівної діяльності». Під час виконання робіт зі спорудження багатоповерхового об'єкта обов'язковому застосуванню підлягають державні будівельні норми ДСТУ 2293:2014 [24], ДБН А.3.2-2-2009 [25]. Правила охорони праці під час виконання будівельних робіт, затверджені наказом Міністерства соціальної політики України № 67 від 23.02.2018 року, а також нормативні документи з пожежної безпеки, зокрема ДБН В.1.1-7:2016 [30].

Виконання вимог законодавства на будівельному майданчику забезпечується шляхом реалізації комплексу організаційних заходів. До них належать проведення вступного, первинного, повторного та позапланового інструктажів, визначення посадових осіб, відповідальних за стан охорони праці, а також розроблення схеми організації будівельного майданчика із зазначенням маршрутів пересування працівників, зон складування матеріалів та шляхів евакуації.

Важливим елементом профілактики виробничого травматизму є здійснення обов'язкових медичних оглядів працівників, які виконують роботи на висоті або експлуатують будівельні механізми. Крім того, кожен працівник має бути забезпечений необхідними засобами індивідуального захисту, включаючи захисні каски, спеціальний одяг, страхувальні пояси та інші засоби відповідно до

характеру виконуваних робіт. Для виконання виробничих операцій допускається використання лише сертифікованого обладнання та техніки, технічний стан яких відповідає встановленим нормативним вимогам.

Контроль за дотриманням законодавчих і нормативних положень у сфері охорони праці здійснюється Державною службою України з питань праці, органами місцевого самоврядування, а також уповноваженими представниками генерального підрядника.

Недотримання вимог охорони праці може стати підставою для притягнення винних осіб до дисциплінарної, адміністративної або кримінальної відповідальності, особливо у випадках виникнення аварійних ситуацій чи нещасних випадків на виробництві.

Під час реалізації будівельних проєктів у районах щільної міської забудови необхідно враховувати додаткові нормативні вимоги, пов'язані із забезпеченням безпеки навколишнього середовища, суміжної забудови та інженерної інфраструктури.

Спорудження 16-поверхового житлового будинку в умовах міської забудови характеризується підвищеним рівнем небезпеки як для персоналу будівельного майданчика, так і для населення, що перебуває поблизу. У зв'язку з цим виникає потреба у влаштуванні захисних огорожень, застосуванні попереджувальної сигналізації, організації спеціальних проходів для пішоходів та обмеженні доступу сторонніх осіб до небезпечних зон.

Додатковою проблемою є можливий негативний вплив будівельних робіт на прилеглі споруди. Для мінімізації такого впливу здійснюються спостереження за осіданням ґрунтів, контролюється стан фундаментів суміжних будівель та впроваджуються заходи щодо зменшення вібраційних навантажень.

Обмеженість вільного простору на будівельному майданчику обумовлює необхідність використання спеціалізованої техніки та підвищує вимоги до професійної підготовки операторів механізмів. У зв'язку з цим виникає потреба у проведенні додаткового навчання та інструктажів персоналу.

Особливе значення має організація логістичних процесів. Доставка будівельних матеріалів і вивезення відходів повинні здійснюватися за погодженими маршрутами з урахуванням вимог місцевих нормативних актів щодо благоустрою територій.

До початку будівництва необхідно отримати відповідні дозвільні документи, зокрема містобудівні умови та обмеження, погодження від власників або балансоутримувачів інженерних мереж, розробити план організації будівництва з урахуванням особливостей щільної забудови та отримати дозволи на тимчасове обмеження руху транспорту або розміщення будівельної техніки.

Таким чином, ефективне забезпечення охорони праці під час будівництва в умовах щільної міської забудови передбачає комплексне поєднання законодавчих вимог, сучасних технічних засобів, систем управління ризиками та принципів сталого розвитку міського середовища.

4.2 Аналіз умов праці на будівництві та виявлення потенційних небезпек

Зведення 16-поверхового житлового будинку супроводжується виконанням значної кількості технологічних операцій, що здійснюються працівниками різних професій у складних виробничих умовах. Будівельний майданчик є джерелом численних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть становити загрозу як для персоналу, так і для сторонніх осіб, особливо в умовах щільної міської забудови.

Своєчасна ідентифікація потенційних небезпек є необхідною передумовою для впровадження ефективних профілактичних заходів та зниження рівня професійних ризиків [26].

До найбільш характерних особливостей умов праці на будівельному майданчику належить значне фізичне навантаження, пов'язане з переміщенням будівельних матеріалів, монтажем арматурних конструкцій та встановленням елементів опалубки. Виконання таких робіт потребує значних м'язових зусиль і

супроводжується підвищеним навантаженням на опорно-руховий апарат працівників.

Істотний вплив на безпеку праці мають метеорологічні чинники. Температурні коливання, атмосферні опади та сильний вітер можуть негативно позначатися на виконанні будівельних робіт, особливо на висоті, спричиняючи перегрівання організму, переохолодження або обмороження.

Окрему групу небезпечних факторів формують шум і вібрація, які виникають під час роботи кранів, бетонозмішувального обладнання, відбійних молотків та інших механізмів. Тривалий вплив зазначених факторів може призводити до погіршення слуху та загального стану здоров'я працівників [27].

Виконання операцій із цементом, арматурою та будівельними сумішами супроводжується утворенням пилу й аерозолів, які негативно впливають на органи дихання. Крім того, працівники можуть контактувати з потенційно небезпечними речовинами, зокрема мастиками, клеями, ґрунтовками та гідроізоляційними матеріалами.

Підвищений рівень ризику характерний для робіт на висоті. Монтажні, бетонувальні та опалубні процеси, що виконуються на верхніх поверхах будівлі, супроводжуються ймовірністю падіння працівників, інструментів або будівельних матеріалів.

Значну небезпеку також становить експлуатація рухомих машин і механізмів. Робота баштових і автомобільних кранів, бетононасосів, екскаваторів та вантажного транспорту потребує чіткої організації руху техніки, виділення небезпечних зон та постійного контролю за їх дотриманням.

Особливу увагу необхідно приділяти використанню електроінструменту та проведенню зварювальних робіт. Несправність обладнання, порушення правил його експлуатації або вплив високих температур можуть спричинити опіки, травмування працівників та інші небезпечні наслідки.

Основні потенційні небезпеки, характерні для будівельного майданчика, наведені в таблиці

Таблиця 4.1 Виявлення потенційних небезпек при будівництві

№	Небезпечний фактор	Причини виникнення	Можливі наслідки
1	Падіння працівника з висоти	Виконання робіт на риштуваннях, перекриттях, поблизу відкритих прорізів та люків	Отримання травм різного ступеня тяжкості, можливий летальний результат
2	Падіння матеріалів та інструментів	Скидання або випадкове падіння будівельних матеріалів, обладнання чи відходів з верхніх ярусів	Травмування працівників будмайданчика та сторонніх осіб
3	Електротравми	Експлуатація несправних електромереж, пошкодження ізоляції проводів	Опіки, ураження нервової системи, смертельні випадки
4	Травмування рухомими механізмами	Робота поблизу вантажопідіймальної техніки, екскаваторів, бетонозмішувального обладнання	Забої, переломи, защемлення частин тіла
5	Падіння на поверхні одного рівня	Наявність вологи, бруду або слизьких ділянок на робочих проходах	Пошкодження кінцівок, забої та розтягнення
6	Виникнення пожежі чи вибуху	Коротке замикання електромережі, використання газових балонів та легкозаймистих речовин	Опіки, руйнування конструкцій, загроза життю та здоров'ю людей

В умовах воєнного стану перелік ризиків суттєво розширюється через загрозу ракетних ударів та повітряних тривог. За таких обставин на об'єкті повинні бути передбачені захисні споруди, розроблені маршрути евакуації та визначено порядок дій персоналу під час виникнення надзвичайних ситуацій. На період повітряної тривоги виконання будівельних робіт підлягає тимчасовому припиненню, а працівники повинні пройти відповідний інструктаж щодо алгоритму безпечної поведінки.

4.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті проєктування

Зведення 16-поверхового житлового будинку в умовах щільної міської забудови міста Полтава супроводжується впливом комплексу небезпечних і шкідливих факторів, здатних негативно позначитися на безпеці працівників, населення прилеглих територій, а також на технічному стані навколишніх споруд та інженерних комунікацій. Виконання будівельно-монтажних робіт пов'язане з

використанням складних технологій, будівельної техніки та обладнання, що обумовлює необхідність систематичного аналізу виробничих ризиків.

Оцінювання ризиків є одним із ключових елементів системи управління охороною праці, оскільки дає можливість своєчасно виявляти потенційні загрози, визначати рівень їх небезпеки та впроваджувати превентивні заходи для запобігання аваріям і виробничому травматизму.

З урахуванням специфіки об'єкта будівництва основні ризики доцільно класифікувати за такими групами:

- техногенні ризики, які виникають у процесі експлуатації будівельних машин, механізмів, електрообладнання та тимчасових інженерних мереж;
- організаційні ризики, пов'язані з недотриманням технологічних регламентів, порушенням вимог інструкцій з охорони праці або недостатнім рівнем контролю за виконанням робіт;
- природно-технічні ризики, обумовлені впливом погодних умов, особливостями ґрунтів, можливими осіданнями основ та дією ґрунтових вод;
- соціальні ризики, що стосуються перебування населення та транспорту в безпосередній близькості до будівельного майданчика.

Для кількісного визначення рівня ризику використовується залежність:

$$R = P \times S, \quad (4.1)$$

де R – рівень ризику;

P – імовірність виникнення небезпечної події;

S – ступінь тяжкості наслідків у випадку реалізації небезпеки.

Таблиця 4.2 Оцінка основних ризиків при будівництві

№	Небезпечна подія	P (імовірність)	S (тяжкість наслідків)	R = P × S	Категорія ризиків
1	2	3	4	5	6
1	Падіння працівника під час виконання висотних робіт	0,3	5	1,5	Високий
2	Руйнування будівельних конструкцій або елементів рихтувань	0,1	5	0,5	Середній
3	Порушення цілісності інженерних комунікацій	0,2	4	0,8	Високий
4	Електротравма внаслідок контакту з електрообладнанням	0,05	5	0,25	Середній

№	Небезпечна подія	P (імовірність)	S (тяжкість наслідків)	R = P × S	Категорія ризиків
1	2	3	4	5	6
5	Падіння будівельних матеріалів чи інструментів на людей поза зоною робіт	0,15	4	0,6	Середній
6	Деформація або просідання ґрунтової основи поблизу існуючих споруд	0,1	5	0,5	Середній / високий
7	Загоряння електропроводки або інших джерел займання	0,03	5	0,15	Низький

Проведений аналіз свідчить, що найбільшу небезпеку становлять роботи на висоті, оскільки їх виконання супроводжується значною ймовірністю отримання важких травм або летальних наслідків. До категорії суттєвих ризиків також належать пошкодження інженерних мереж, порушення стійкості тимчасових конструкцій, обвалення риштувань та вплив будівельних матеріалів на перехожих.

Окремої уваги потребує ризик деформації ґрунтової основи та можливого впливу на суміжну забудову. За відсутності належного геотехнічного контролю такі процеси можуть призвести до пошкодження сусідніх будівель і споруд. Не менш важливими є ризики, пов'язані з використанням електрообладнання та тимчасових мереж електропостачання, несправність яких може спричинити ураження електричним струмом або виникнення пожежі.

З метою зниження рівня виробничих ризиків необхідно реалізувати комплекс профілактичних заходів.

До організаційних заходів належать розроблення та суворе дотримання проекту виконання робіт, проведення систематичних інструктажів безпосередньо на робочих місцях, а також раціональний розподіл трудового навантаження між працівниками під час виконання робіт підвищеної небезпеки.

Технічні заходи передбачають застосування захисних сіток, огорожень і козирків, проведення регулярного контролю технічного стану будівельної техніки та тимчасових конструкцій, а також використання сучасних засобів моніторингу, включаючи системи відеоспостереження та датчики контролю осідань.

У межах профілактичних заходів важливе значення має постійний геодезичний контроль технічного стану прилеглих будівель, перевірка справності тимчасових електромереж і забезпечення працівників засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних робіт.

Результати проведеного аналізу дозволяють зробити висновок, що рівень ризику при спорудженні багатоповерхових житлових об'єктів у щільній міській забудові варіюється від середнього до високого. За таких умов забезпечення належного рівня безпеки можливе лише за умови комплексного впровадження організаційних, технічних та профілактичних заходів і здійснення безперервного контролю виробничих процесів.

4.4 Розробка організаційно-технічних, архітектурно-планувальних заходів, спрямованих на покращення умов праці на об'єкті проєктування

Підвищення рівня безпеки праці під час виконання будівельно-монтажних робіт є важливою передумовою зниження виробничого травматизму та забезпечення ефективної організації будівельного процесу. Досягнення цієї мети потребує впровадження комплексу взаємопов'язаних організаційних, технічних та архітектурно-планувальних рішень.

Організаційні заходи повинні передбачати розроблення детального плану організації будівництва із визначенням зон підвищеної небезпеки та порядку виконання робіт у межах таких зон. Необхідним є облаштування безпечних маршрутів пересування працівників територією майданчика, виділення спеціальних ділянок для складування матеріалів і конструкцій, а також проведення систематичного навчання та інструктажів з питань охорони праці. Крім того, доцільним є закріплення відповідальних осіб за стан безпеки на окремих виробничих ділянках.

Технічний напрям удосконалення умов праці передбачає використання інвентарних риштувань і опалубних систем заводського виробництва, що відповідають чинним вимогам безпеки. Для запобігання падінню працівників і матеріалів необхідно встановлювати захисні сітки, перильні огороження та

спеціальні козирки. Важливим заходом є максимальна механізація будівельних процесів шляхом застосування вантажопідіймальних кранів, підйомників та інших засобів механізації, що дозволяють скоротити обсяги важкої ручної праці. Належні умови праці також забезпечуються завдяки організації тимчасового освітлення, вентиляції та створенню необхідних санітарно-побутових приміщень [28, 29].

Архітектурно-планувальні рішення повинні бути спрямовані на підвищення безпеки виконання робіт і покращення логістики будівельного майданчика. До таких рішень належить раціональне планування внутрішнього простору ділянки, оптимізація шляхів транспортування матеріалів, ефективне розміщення сходових і ліфтових вузлів, а також облаштування тимчасових огорожень по периметру будівництва. Додатковим заходом захисту навколишнього середовища та населення є встановлення шумозахисних екранів. При плануванні організації робіт доцільно також враховувати умови природного освітлення та провітрювання робочих зон.

Комплексна реалізація запропонованих заходів забезпечить підвищення рівня безпеки виробничого середовища, сприятиме зменшенню кількості нещасних випадків, покращенню умов праці персоналу та підвищенню ефективності виконання будівельних робіт.

4.5 Висновки

Забезпечення належного рівня охорони праці під час будівництва багатоповерхових житлових будівель є необхідною умовою безпечного виконання робіт та ефективної організації виробничих процесів. Досягнення цієї мети передбачає не лише дотримання вимог чинного законодавства, а й активне використання сучасних технічних засобів, систем управління ризиками та організаційних механізмів контролю безпеки.

Проведене дослідження умов праці під час спорудження 16-поверхового житлового будинку показало, що будівельний процес супроводжується значною кількістю виробничих, технічних та екологічних небезпек. Найбільш суттєвими з

них є виконання робіт на висоті, експлуатація будівельної техніки, використання електрообладнання, можливість пошкодження інженерних мереж та негативний вплив будівництва на суміжні споруди.

Результати аналізу підтвердили необхідність систематичного виявлення та оцінювання небезпечних факторів на всіх етапах будівництва. Своєчасне визначення потенційних ризиків дозволяє запобігати аварійним ситуаціям, мінімізувати виробничий травматизм і забезпечувати стабільне функціонування системи охорони праці.

Запропонований комплекс організаційно-технічних та архітектурно-планувальних заходів створює передумови для підвищення рівня безпеки працівників, покращення умов праці та зниження ймовірності виникнення нещасних випадків. Реалізація зазначених рішень забезпечує відповідність будівельного процесу вимогам чинної нормативної бази та сприяє підвищенню ефективності виконання робіт.

В умовах воєнного стану особливого значення набувають заходи цивільного захисту. На території будівельного майданчика необхідно передбачати захисні укриття, системи оперативного оповіщення, резервні джерела електроживлення, засоби надання домедичної допомоги та відпрацьовані алгоритми евакуації персоналу під час надзвичайних ситуацій.

Перелік джерел посилання

1. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. - 185 с.
2. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 40 с.
3. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – Київ. Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. – 27 с.
4. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. - Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2023. 62 с.
5. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будівель і споруд. - К.: Мінрегіонбуд України, 2017. – 46 с.
6. ДСТУ Б В. 2.6-62:2008. Конструкції будинків і споруд. Марші та сходові площадки залізобетонні. Технічні умови. - К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 39 с.
7. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.
8. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення - К.: Мінрегіон України, 2018. – 36 с.
9. ДБН В.1.2-2:2006*. Навантаження і впливи. Норми проектування із зміною № 1 та № 2. - Київ: Мінбуд України, 2020. - 72 с.
10. ДСТУ 8855:2019. Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності). - Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 26 с.
11. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1- К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
12. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. - К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 166 с.
13. Залізобетонні конструкції: будівлі, споруди та їх частини :

Підручник / А.М. Павліков. Полтава, ПолтНТУ, 2017. 284 с.

14. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. - Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. - 18 с.

15. ДСТУ Б В.2.6-207:2015. Розрахунок і конструювання кам'яних та армокам'яних конструкцій будівель та споруд. К.: Мінрегіон України, 2016. – 258 с.

16. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. – К.: Мінрегіонбуд України, 2016. – 46 с.

17. Технологія монтажу будівельних конструкцій: Навчальний посібник /В.К.Черненко, О.Ф. Осипов, Г.М. Тонкачєєв та ін.; За ред. В.К. Черненка. – Вид. 2-ге. – К.: Горобець Г.С., 2011 – 372 с.

18. Організація будівництва / С.А. Ушацький, Ю.П. Шейко, Г.М.Тригер та ін.; За редакцією С.А. Ушацького: Підручник. Кондор, 2007.

19. Посібник з розробки проектів організації будівництва і проектів виконання робіт (к ДБН А.3.1–5–96 «Організація будівельного виробництва»). – Київ, 1997. – 125 с.

20. ДБН Д.2.2-99. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи /РЕКН/. – К.: Держбуд України, 2000.

21. Технологія будівельного виробництва: Підручник / В.К. Черненко, М.Г. Ярмоленко, Г.М. Батура та інші. –К.: Вища шк., 2002.–430 с.

22. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в дипломних роботах здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти (для студентів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія). - Харків: ХНУМГ, 2024.

23. Сивко В. Й. Розрахунки з охорони праці : Навч. посіб. / В. Й. Сивко. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 152 с.

24. ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015. – 18 с.

25. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека в будівництві. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 116 с.

26. ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. – К.: Мінбуд України, 2007. – 22 с.
27. ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 48 с.
28. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. - К.: Мінрегіон України, 2018. – 137 с.
29. ДСТУ Б.А.3.2-15:2011. Норми освітлення будівельних майданчиків. - К.: Мінрегіон України, 2012. – 25 с.
30. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – К.: Мінрегіонбуд України, 2017. – 41 с.