

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

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

КАФЕДРА БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**ШИНОМОНТАЖНЕ ВІДДІЛЕННЯ ГІРНИЧНО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО
КОМБІНАТУ В ПОЛТАВСЬКІЙ ОБЛАСТІ**

Розробив: студент 4 курсу, БтаЦІ 2022-1

Спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Освітньої програми – Промислове та цивільне будівництво

Бубловський Владислав Олександрович



Керівник: доктор філософії, асистент кафедри
будівельних конструкцій Солодовник Ю.Ю.



Рецензент: кандидат технічних наук, доцент кафедри
будівельних конструкцій Бутенко 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 будівельних
конструкцій

 к.т.н., доц. Спіранде К.В.

«01» червня 2026 року

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА**

Бубловському Владиславу Олександровичу

Спеціальність: *192 - Будівництво та цивільна інженерія*

Освітня програма: *Промислове та цивільне будівництво*

Тема кваліфікаційної роботи: *Шиномонтажне відділення гірничо-збагачувального комбінату в Полтавській області затверджена наказом ректора ХНУМГ ім. О. М. Бекетова від «26» травня 2026 р. № 447-03*

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

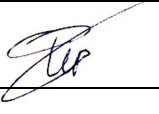
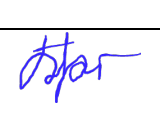
Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: *інженерно-геологічні умови, основні вимоги до несучих та огорожувальних конструкцій будівлі, архітектурно-планувальне рішення об'єкту.*

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): *архітектурно-будівельна частина, розрахунково-конструктивна частина, розділ технології та організації будівельного виробництва, розділ охорони праці.*

Перелік графічного матеріалу (із чітким зазначенням обов'язкових креслень):

- архітектурно-будівельна частина: *генеральний план, ситуаційний план, план відмітки 0.000, фасад в осях 1 – 12, розріз 1 – 1, розріз 2 – 2, план покрівлі;*
- розрахунково-конструктивна частина: *схема колон на відм 0.000, схема по нижнім поясам ферм, верхнім поясам ферм, розріз 1-1, розріз 2-2, вузли 2-4, геометрична схема ферми, вид А,;*
- технологічні рішення та організація будівництва: *технологічна карта на монтаж колон та плит перекриття.*

КОНСУЛЬТАНТИ РОЗДІЛІВ РОБОТИ

Розділ		Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
			завдання видав	завдання прийняв
1. Архітектурно-будівельна частина		Казімагомедов Ф.І., доцент		
2. Розрахунково-конструктивна частина	Розрахунок підземної частини об'єкту	Александрович В.А., зав. кафедри		
	Розрахунок надземної частини об'єкту	Солодовник Ю.Ю., асистент		
3. Технологічні рішення та організація будівництва		Братішко С.М. доцент		
4. Охорона праці		Косенко Н.О., доцент		
Нормоконтроль		Пустовойтова О.М., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів 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	13.06-16.05.2026	виконано
4. Охорона праці	15.06-16.06.2026	виконано

Керівник кваліфікаційної роботи  доктор філософії, ас. Солодовник Ю.Ю.

Завдання прийняв до виконання



Дата видачі завдання « 01 » червня 2026р.

Зміст

ВСТУП.....	6
1 АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Вихідні дані.....	7
1.2 Об'ємно-планувальне рішення будівлі.....	8
1.3 Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій	9
1.4 Характеристика основних конструктивних елементів.....	11
1.5 Інженерне обладнання будівлі.....	12
2 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА.....	14
2.1 Розрахунок надземної частини об'єкту	14
2.1.1 Вибір сталі для сталевих конструкцій	14
2.1.2 Визначення навантажень.....	16
2.1.2.1 Постійні навантаження.....	16
2.1.2.2 Навантаження на покриття від снігу.....	18
2.1.2.3 Вітрове навантаження.....	20
2.1.2.4 Навантаження від мостових кранів.....	24
2.1.3 Визначення жорсткостей елементів рами	33
2.1.4 Статичний розрахунок.....	35
2.1.5 Розрахунки ферми покриття	46
2.1.6 Розрахунки вузлів ферми	47
2.2 Розрахунок підземної частини об'єкту	55
2.2.1 Аналіз інженерно-геологічних умов	55
2.2.2 Глибина закладення фундаменту	56
2.2.3 Напруження від власної ваги ґрунту.....	59
2.2.4 Визначення осідання фундаменту.....	61
2.2.5 Перевірка підстилаючого шару ґрунту.....	62
2.2.6 Попереднє конструювання фундаменту.....	63
2.2.7 Розрахунок фундаменту на продавлювання.....	64
2.2.8 Армування фундаменту.....	65
2.2.9 Армування підколонника	67
3 ТЕХНОЛОГІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	68
3.1 Монтажні характеристики елементів будівлі.....	68

3.2 Вибір монтажного крана	69
3.2.1 Монтаж колон.....	69
3.2.2 Монтаж підкранових балок.....	69
3.2.3 Монтаж кроквяних ферм.....	70
3.3 Технологія виконання монтажних робіт.....	74
3.3.1 Монтаж колон.....	74
3.3.2 Монтаж підкранових балок.....	74
3.3.3 Монтаж кроквяних ферм.....	75
3.3.4 Монтаж сендвіч-панелей.....	75
3.4 Складання калькуляції трудових витрат	76
3.5 Техніка безпеки і охорона праці.....	77
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	79
4.1 Забезпечення охорони праці на законодавчому рівні	79
4.2 Аналіз умов праці та виявлення потенційних небезпек на об'єкті проектування.....	80
4.2.1 Фізичні небезпечні та шкідливі виробничі фактори	81
4.2.2 Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори.....	81
4.2.3 Біологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори	81
4.2.4 Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори	82
4.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті проектування.....	82
4.4 Розробка організаційно-технічних та архітектурно-планувальних заходів, спрямованих на покращення умов праці на об'єкті проектування	84
4.4.1 Заходи щодо безпечної експлуатації кранового обладнання	84
4.4.2 Заходи щодо електробезпеки	85
4.4.3 Нормалізація шумового режиму.....	86
4.4.4 Забезпечення нормативної освітленості робочих місць	86
4.4.5 Забезпечення нормальних параметрів мікроклімату	87
4.4.6 Заходи щодо пожежної безпеки.....	88
4.4.7 Заходи безпеки в умовах воєнної агресії.....	88
4.5 Висновки	90

ВСТУП

Гірничодобувна промисловість України є однією з базових галузей національної економіки. Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат (ПолтавГЗК) у місті Горішні Плавні - один із найбільших виробників залізорудних котунів в Європі, безперебійна робота якого безпосередньо залежить від технічної справності парку кар'єрної техніки: потужних самоскидів вантажопідйомністю 45-130 т, бульдозерів та екскаваторів.

Обслуговування великогабаритних шин кар'єрних самоскидів є одним із найбільш трудомістких видів технічного обслуговування та потребує спеціалізованого підйомно-транспортного обладнання й відповідної виробничої інфраструктури. Відсутність належно облаштованого шиномонтажного відділення призводить до аварійних простоїв техніки та значних економічних втрат.

Будівництво шиномонтажного відділення безпосередньо на промисловому майданчику ПолтавГЗК дозволить забезпечити повний цикл обслуговування шин, скоротити час простою техніки та підвищити безпеку виконання робіт. З інженерної точки зору проектування такого об'єкта з мостовим краном $Q = 30/5$ т потребує ретельного розрахунку сталевих каркасів, фундаментів та оптимізації будівельно-монтажних процесів.

Метою бакалаврської роботи є комплексне проектування будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» у місті Горішні Плавні, що включає розробку архітектурно-планувальних рішень; розрахунок несучих елементів сталевих каркасів - поперечної рами, кроквяних ферм та ступінчастих колон; проектування залізобетонних фундаментів;

1 АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Вихідні дані

Об'єктом будівництва є будівля шиномонтажного відділення Приватного акціонерного товариства «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат» (ПрАТ «ПолтавГЗК»), розташована за адресою: м. Горішні Плавні, Полтавська область, Україна. Горішні Плавні - місто обласного значення, розташоване у степовій зоні Полтавської області на лівому березі Кременчуцького водосховища. Виробнича ділянка входить до складу промислової площадки комбінату, що є одним із найбільших залізрудних підприємств України, і має розвинену інженерно-транспортну інфраструктуру.

Рельєф ділянки будівництва спокійний, із незначними перепадами висот, що є сприятливим для розміщення виробничого об'єкта та організації внутрішньомайданчикових транспортних потоків. На прилеглої території передбачено відкриті майданчики для маневрування та паркування великовантажних кар'єрних самоскидів, зберігання великогабаритних шин, внутрішньомайданчикові проїзди та під'їзні шляхи шириною 9,0-12,0 м. Інженерно-геологічні умови ділянки є придатними для будівництва, а ґрунти забезпечують необхідну несучу здатність для сприйняття навантажень від будівлі та технологічного обладнання.



Рис.1.1.1 Ситуаційний план

Відповідно до ДБН В.1.2 - 2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування» [1] для даного місця будівництва визначено значення основних кліматичних впливів:

- IV сніговий район; характеристичне значення снігового навантаження $S_0 = 1,40$ кПа;
- II вітровий район, тип місцевості III; характеристичне значення вітрового тиску $W_0 = 0,45$ кПа.

За ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» [2] для регіону будівництва (м. Горішні Плавні, Полтавська область) встановлено такі кліматичні характеристики:

- середньорічна температура повітря: $+8,1$ °C;
- мінімальна температура найбільш холодного періоду: -27 °C;
- максимальна температура найбільш теплого періоду: $+38$ °C;
- загальна кількість атмосферних опадів: 550-570 мм/рік;
- середня швидкість вітру: 5-6 м/с;
- нормативна глибина промерзання ґрунтів: 1,2 м.

Комплексне врахування природно-кліматичних, інженерно-геологічних та виробничих умов ділянки є основою для обґрунтованого вибору архітектурно-планувальних, конструктивних та теплотехнічних рішень будівлі шиномонтажного відділення.

1.2 Об'ємно-планувальне рішення будівлі

Проектована будівля шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» має прямокутну форму в плані та складається з двох функціональних блоків: основного виробничого залу та двоповерхового адміністративно-побутового корпусу (АБК).

Основний виробничий об'єм має такі габаритні розміри: довжина - 85,5 м (по осях 1-11), ширина - 24,0 м (по осях А-Д). До торцевої частини (осі 11-12) примикає АБК шириною 7,5 м. Загальна висота будівлі до верху покрівлі становить +20,000 м (відносна відмітка). Будівля є двозональною за висотою:

основний виробничий зал із висотою до відм. +16,2 м та двоповерховий АБК із міжповерховим перекриттям на відм. +3,450 м.

Конструктивна схема основного прольоту передбачає ширину 24,0 м. Крок колон по довжині будівлі - 7 м (крайні прольоти) та 5/13 м (середні прольоти відповідно до технологічних вимог). Будівля орієнтована по осях 1-12 вздовж головного фасаду, що забезпечує раціональну організацію внутрішнього простору та зручність виконання технологічних операцій.

Функціонально будівля поділяється на дві основні частини. У внутрішньому просторі основного виробничого корпусу розміщено такі функціональні зони: виробничі приміщення шиномонтажу, компресорна теплогенераторна, електрощитова, склад запасних частин, інструментально-роздаткова кладова, нарядна-офіс майстра, санвузол та допоміжні приміщення. На другому поверсі АБК розташовані: кімната приймання їжі, гардеробна, духова з переддуховою та санвузол.

Технологічний цикл шиномонтажного відділення розпочинається з подачі кар'єрних самоскидів або їх коліс у зону приймання через в'їзні ворота ОК-3 по осях А та Д, які забезпечують наскрізний проїзд великогабаритної техніки. На кожному з трьох монтажних постів послідовно виконуються: діагностика стану шини, демонтаж колеса, розбортування та огляд; ремонт (ділянка вулканізації) або заміна шини за результатами контролю. Постачання стисненого повітря до монтажних постів здійснюється від компресорної. Управління виробничим процесом здійснює майстер зміни з нарядної-офісу.

Прийняте об'ємно-планувальне рішення відповідає вимогам пожежної безпеки, ергономіки та ефективної організації виробничого процесу. Усі приміщення мають достатнє природне та штучне освітлення. Передбачено можливість оперативного обслуговування обладнання та безперешкодного переміщення великогабаритної техніки по виробничому залу.

1.3 Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій

Теплотехнічний розрахунок зовнішніх огорожувальних конструкцій є обов'язковим етапом проєктування відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021

«Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [3] та ДСТУ 9191:2022 «Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель»[4]. Метою розрахунку є підтвердження того, що фактичний опір теплопередачі прийнятих конструктивних рішень відповідає нормативно встановленому мінімальному значенню для даного кліматичного регіону.

Зовнішні стінові огорожувальні конструкції виробничого залу виконані зі сандвіч-панелей Ruukki SP2D PIR товщиною 100 мм з утеплювачем з пінополіізоціанурату (PIR). Теплотехнічні характеристики матеріалів панелі наведено нижче.

Конструкція стінової панелі (зовні всередину):

- сталева зовнішня обшивка (профільована), $t = 0,5$ мм;
- утеплювач PIR (поліізоціанурат), $\lambda = 0,022$ Вт/(м²·К), $d = 100$ мм;
- сталева внутрішня обшивка (гладка), $t = 0,5$ мм.

Коефіцієнти тепловіддачі поверхонь:

- внутрішньої поверхні: $h_{si} = 8,7$ Вт/(м²·К);
- зовнішньої поверхні: $h_{se} = 23$ Вт/(м²·К).

Опір теплопередачі стінової конструкції визначається за формулою:

$$R_s = \frac{1}{h_{si}} + \frac{d}{\lambda_p} + \frac{1}{h_{se}} \quad (1.1.1)$$

$$R_s = \frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{0,022} + \frac{1}{23} = 4,704 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}.$$

З урахуванням коефіцієнта теплотехнічної однорідності для даного типу панелей $r = 0,998$ приведений опір теплопередачі становить:

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{A_{\Sigma}}{\frac{A_1}{R_s}} \quad (1.1.2)$$

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{1}{\frac{1}{4,704}} = 4,704 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$$

За додатком А ДБН В.2.6-31:2021 м. Горішні Плавні відноситься до I температурної зони,:

$$R_{qmin} = 2,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$$

$$R_{\Sigma \text{пр}} > R_{q \text{min}} = 4,704 > 2,2$$

Таким чином, прийнята стінова сандвіч-панель Ruukki SP2D PIR товщиною 100 мм забезпечує нормативний рівень теплового захисту будівлі шиномонтажного відділення і відповідає вимогам чинних норм щодо теплозахисту та запобігання конденсатоутворенню.

1.4 Характеристика основних конструктивних елементів

Конструктивна схема будівлі - рамно-в'язева. Несучий каркас виконано з металевих конструкцій: колони, кроквяні ферми, підкранові балки. Просторову жорсткість забезпечують поперечні рами з прольотом 24 м та кроком 5/7/13 м, а також система вертикальних і горизонтальних в'язей по колонах та покриттю. Деформаційні шви між основним виробничим блоком і адміністративно-побутовим корпусом передбачено відповідно до вимог норм.

Колони каркасу виконані з двотаврових зварних перерізів зі сталі марки С245. У зоні підкранових балок колони мають змінний переріз (ступінчасті). Жорстке закладання колон у фундаменти забезпечує стійкість рами в поздовжньому та поперечному напрямках. Підкранові балки прольотом 5 м, 7 м та 13 м сприймають навантаження від двох опорних мостових кранів вантажопідйомністю $Q = 300/50 \text{ кН}$ (30/5 т).

Кроквяні (стропильні) ферми - сталеві з паралельними поясами, прольот 24 м. Геометрична схема ферм - із трикутною решіткою, всі елементи (пояси, стійки, розкоси) виконані із зварних профілів або парних кутиків.

Покрівельна конструкція виконана з ухилом 3 % та забезпечує зовнішнє водовідведення через внутрішні водостоки типу Geberit Pluvia з електрообігрівом. Конструкція покрівлі (знизу вгору): несучий профнастил Ruukki T60-110L-915 ($t = 0,7 \text{ мм}$); пароізоляційна плівка Juta «Паробар'єр CI 100»; мінеральна вата ROCKWOOL DACHROCH MAX ($R = 5,00 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, $\delta = 200 \text{ мм}$); ПВХ-мембрана Sika «Sikalon-15 VGWT» (1,5 мм).

Зовнішні стінові огорожувальні конструкції виконані з сандвіч-панелей двох типів. Основні стінові панелі виробничого залу - Ruukki SP2D PIR товщиною 100 мм з утеплювачем PIR ($\lambda = 0,023 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$), замок прихованого

кріплення. Панелі у зонах протипожежних перешкод та в адміністративно-побутовому блоці - Ruukki SP20 W з мінераловатним наповнювачем (вогнестійкість REI 45).

Протипожежні перегородки між виробничим залом і підсобними приміщеннями виконані з цегляної кладки (REI 60) та гіпсокартонних перегородок W111 (EI 45) за схемою: ГКЛ KNAUF 12,5 мм + профіль CW 75 з кроком 600 мм + мінераловатний утеплювач 50 мм + ГКЛ KNAUF 12,5 мм.

Підлоги у виробничому залі - бетонне фінішне покриття по залізобетонній плиті класу B20 товщиною 120 мм з гідроізоляцією бітумним праймером. Цоколь будівлі захищено керамічною плиткою на цементно-піщаному розчині.

Зовнішні ворота - типу ОК-1 (одиначні) та ОК-2, ОК-3 (розсувні/підйомно-поворотні) відповідних розмірів для проїзду кар'єрних самоскидів. Вікна у виробничому залі - стрічкового типу ОК-4 на висоті +8,000 м; в адміністративному блоці - стандартні ОК-7, ОК-8.

Будівля належить до II ступеня вогнестійкості. Нормативні межі вогнестійкості основних конструктивних елементів: зовнішні ненесучі стіни (сандвіч-панель Ruukki SP2D PIR) - REI 45; протипожежні стіни (цегляна кладка) - REI 60; колони - R 45; балки покриття - R 45; гіпсокартонні перегородки W111 - EI 45; заповнення прорізів у протипожежних перешкодах (двері) - EI 30.

1.5 Інженерне обладнання будівлі

Будівля шиномонтажного відділення оснащена повним комплексом інженерних мереж, необхідних для забезпечення виробничого процесу та нормативних умов праці персоналу.

Опалення основного виробничого залу - повітряне від теплогенераторної. Як джерела тепла застосовуються газові теплогенератори, від яких нагріте повітря розподіляється по виробничому об'єму через повітроводи та повітророзподільники, забезпечуючи рівномірний тепловий режим у великопрольотному залі. Система опалення адміністративно-побутового корпусу - радіаторна водяна, підключена до теплопостачання комбінату.

Вентиляція виробничого залу - припливно-витяжна з механічним спонуканням. На ділянці вулканізації передбачено місцеві витяжні пристрої (бортові відсмоктувачі), що забезпечують локалізацію шкідливих виділень безпосередньо в зоні їх утворення.

Водопостачання та каналізація підключені до мереж комбінату. Виробничо-побутове водопостачання забезпечується від існуючих мереж ПолтавГЗК; передбачено гаряче водопостачання для душових приміщень АБК. Виробничі стоки від монтажних постів та ділянки вулканізації перед скиданням у загальну каналізацію комбінату проходять через місцеві очисні пристрої (піско- та нафтовловлювачі).

Електропостачання виробничого залу, технологічного обладнання, підйомних механізмів та адміністративно-побутового блоку здійснюється від трансформаторної підстанції ПолтавГЗК через електрощитову. Напруга живлення технологічного обладнання та кранів - 380 В, освітлення - 220 В. Будівля обладнана системою захисного заземлення та блискавкозахисту відповідно до вимог. Освітлення виробничого залу виконано промисловими LED-світильниками, закріпленими на нижніх поясах кроквяних ферм, що забезпечує нормовану освітленість робочих зон.

Постачання стисненого повітря до монтажних постів шиномонтажного відділення здійснюється від компресорної установки по сталевих трубопроводах із необхідним робочим тиском. Передбачено встановлення ресивера, осушувача стисненого повітря та фільтрів тонкого очищення.

Будівля оснащена системою автоматичної пожежної сигналізації (АПС) з адресними димовими та тепловими сповіщувачами. Системи оповіщення та управління евакуацією людей відповідають II типу. Внутрішнє протипожежне водопостачання забезпечується через пожежні крани, встановлені у виробничому залі та АБК. У виробничих приміщеннях додатково передбачено первинні засоби пожежогасіння (порошкові вогнегасники).

2 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок надземної частини об'єкту

2.1.1 Вибір сталі для сталевих конструкцій

Визначаємо групу конструкцій для колон виробничої будівлі. До цієї групи належать основні елементи поперечного перерізу колон виробничих споруд, зокрема пояси та ґратки наскрізних колон.

Відповідно до ДСТУ 8855:2019 «Визначення класу наслідків (відповідальності)» [5], шиномонтажне відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» належить до виробничих будівель із постійним перебуванням персоналу та наявністю горючих матеріалів. Тому для об'єкта прийнято клас відповідальності СС2 (середні наслідки). Згідно з таблицею В.2 ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [6] коефіцієнт надійності будівлі становить $\gamma_n = 1,1$. Тому відповідно до таблиці В.2 [6], отримуємо $S_1 = 0$ балів.

За категорією призначення конструкція належить до категорії А (таблиця В.1 додатка В ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [6], що відповідає значенню $S_2 = 11$ балів.

Категорія за напруженим станом приймається ІІ, оскільки колони працюють переважно на стиск із виникненням згинальних моментів. Відповідно до таблиці В.2 ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [6] маємо $S_3 = 1$ балів.

Розтягувальні напруження в конструкції наявні, оскільки під дією кранових та вітрових навантажень у крайніх волокнах нижньої частини колони виникають зони розтягу. За таблицею В.2 ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [6] приймаємо $S_4 = 7$ балів.

Несприятливий вплив зварних з'єднань враховується через використання складеного двогілкового зварного перерізу колони. За таблицею В.2 ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [6] отримуємо $S_5 = 6$ балів.

Сумарна кількість балів склала:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 \quad (2.1.1)$$

$$S = 0 + 11 + 1 + 7 + 6 = 25 \text{ балів - група 2.}$$

Знаючи групу конструкцій, за таблицею Е.1 додатка Е ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [6] вибирається одна з дозволених марок сталі - С245.

Визначається група конструкцій для ферм покриття - ферм, що працюють під дією статичних навантажень.

Відповідно до ДСТУ 8855:2019 «Визначення класу наслідків (відповідальності)» [5], шиномонтажне відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» належить до виробничих будівель із постійним перебуванням персоналу та наявністю горючих матеріалів. Тому для об'єкта прийнято клас відповідальності СС2 (середні наслідки). Згідно з таблицею В.2 ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [6] коефіцієнт надійності будівлі становить $\gamma_n = 1,1$. Тому відповідно до таблиці В.2 [6], отримуємо $S_1 = 0$ балів.

Категорія за призначенням - А (таблиця В.1 додатка В ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування»), тоді за таблицею В.2 ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [6] маємо: $S_2 = 11$ балів.

Категорія за напруженим станом - ІІ, оскільки елементи ферми сприймають осьові зусилля стиску та розтягу, тоді за таблицею В.2 ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [6] маємо: $S_3 = 5$ балів

Наявність розтягувальних напружень - є, оскільки нижній пояс ферми працює на розтяг, тоді за таблицею В.2 ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [6] маємо: $S_4 = 7$ балів

Несприятливий вплив зварних з'єднань - є, оскільки елементи ферми приварюються до вузлових фасонки, тоді за таблицею В.2 ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [6] маємо: $S_5 = 6$ балів.

Сумарна кількість балів склала:

$$S = 0 + 11 + 5 + 7 + 6 = 29 \text{ балів - група 1.}$$

Знаючи групу конструкцій, за таблицею Е.1 додатка Е ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проєктування» [6] вибирається одна з дозволених марок сталі - С255.

2.1.2 Визначення навантажень

2.1.2.1 Постійні навантаження

Таблиця 2.1.1 Розрахунок навантажень на покриття будівлі

№ п/п	Підрахунок навантажень	Характеристичні значення навантаження g_n , кПа (кН/м ²)	Експлуатаційне розрахункове навантаження		Граничне розрахункове навантаження	
			γ_{fe} -коеф. надійності за експлуатац. розрахунк. навантаження м ДБН «Н і в» п. 5.2	g_e , кН/м ²	γ_{fm} -коеф. надійності за граничн. розрахунковим навантаження м, ДБН «Н і в» Таблиця 5.1	g_m , кН/м ²
1	2	3	4	5	6	7
1.	Власна вага дахової сендвіч Ruukki SPC2D 200 мм	0.2	1.0	0.2	1.2	0.24
2.	Власна вага металоконструкцій покриття:					
	- прогони	0.1	1.0	0.1	1.05	0.11
	- кроквяних ферм	0.3	1.0	0.3	1.05	0.32
	0.2 кН/м ²	0.1	1.0	0.1	1.05	0.11
	- зв'язків					
Разом, постійне навантаження:		$g_e = \Sigma g_e = 0.6$			$g_m = \Sigma g_m = 0.78$	

Визначаємо погонне граничне розрахункове навантаження уздовж горизонтальної всі ригеля рами:

$$q_m = \frac{g_m * B * \gamma_n}{\cos \alpha} \quad (2.1.2)$$

Визначаємо погонне експлуатаційне розрахункове навантаження уздовж горизонтальної всі ригеля рами:

$$q_e = \frac{g_e * B * \gamma_n}{\cos \alpha} \quad (2.1.3)$$

при нахилі покрівлі $i = 3\%$: $tg \alpha = 0.03$; $\alpha = 0.859^\circ$; $\cos \alpha = 0.999 \approx 1$,
тоді:

Граничне розрахункове навантаження

$$q_m = \frac{0.78 * 13 * 1.1}{\cos 0.03} = 11.16 \text{ кН/м}$$

Експлуатаційне навантаження

$$q_e = \frac{0.6 * 13 * 1.1}{\cos 0.03} = 8.58 \text{ кН/м}$$

Опорна вертикальна реакція ферми від постійного навантаження, що діє на колону:

$$V_{q_m} = \frac{q_m * L}{2} \quad (2.1.4)$$

$$V_{q_m} = \frac{11.16 * 24}{2} = 133.92 \text{ кН}$$

Згинальний момент від ексцентричної передачі реакції ферми на колону

$$M_{q_m} = V_{q_m} * e = V_{q_m} * \frac{b}{2} \quad 2.1.5$$

$$M_{q_m} = 133.92 * \frac{0.44}{2} = 29.46 \text{ кН * м}$$

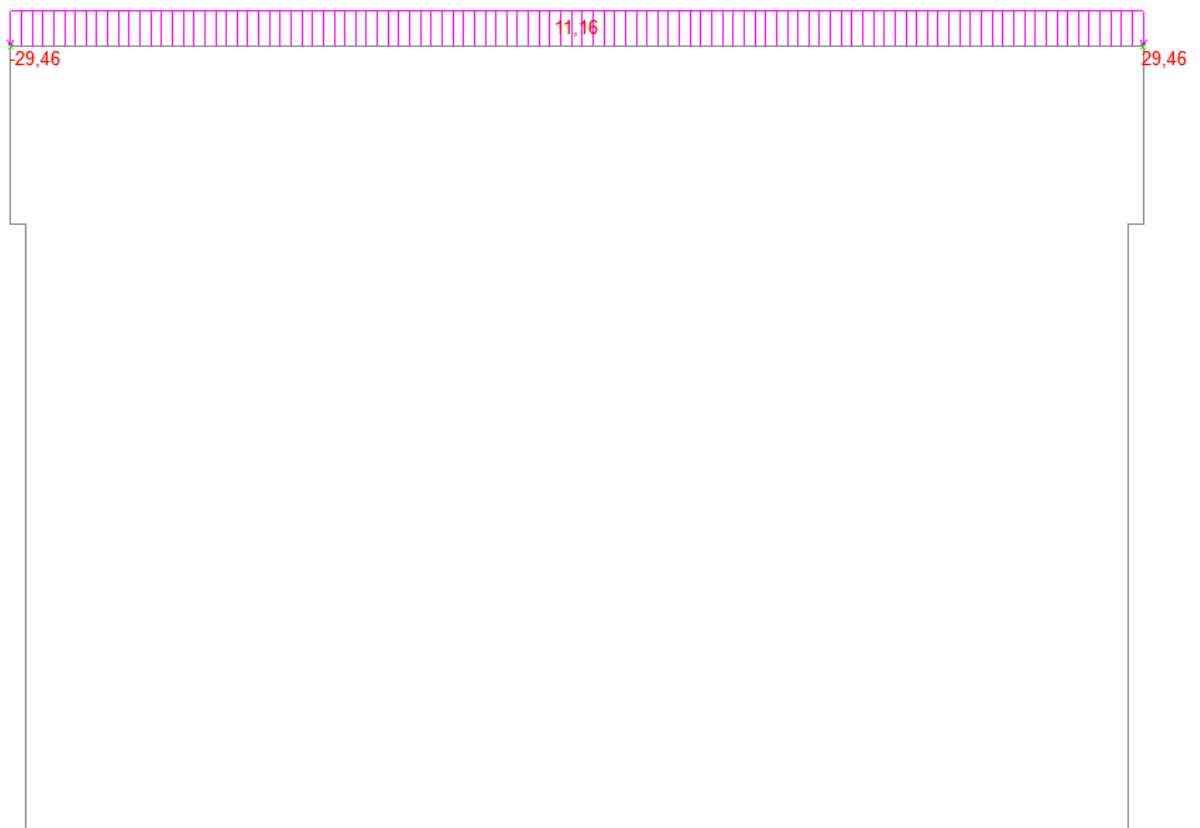


Рис.2.1.2 Схема прикладання постійних навантажень

2.1.2.2 Навантаження на покриття від снігу

Згідно ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [1], п.8.2, **граничне розрахункове значення** поверхневого снігового навантаження, що діє на горизонтальну проекцію покриття (конструкції), обчислюється за формулою:

$$S_m = \gamma_{fm} * S_o * C \quad (2.1.6)$$

де γ_{fm} - коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаження, що приймається за п.8.11: $T = 50$ років $\Rightarrow \gamma_{fm} = 1$,

S_o - характеристичне значення снігового навантаження (у Па). Для м. Горішні Плавні маємо:

$$S_o = 1400 \text{ Па} = 1,4 \text{ кПа (кН/м}^2\text{)}$$

C - коефіцієнт, що визначається за вказівками п.8.6, ДБН «Навантаження і впливи» [1].

$$C = \mu * C_e * C_{alt} \quad (2.1.7)$$

$\mu = 1$ при $\alpha \leq 25^\circ$ (α - нахил покрівлі).

$$C_e = 1;$$

$$C_{alt} = 1$$

$$C = 1 * 1 * 1 = 1$$

Остаточно маємо:

$$S_m = 1 * 1,4 * 1 = 1,4 \text{ кН/м}^2$$

Поверхнєве снігове навантаження $g_{сн,m}$ приводиться до розрахункової схеми рами у формі погонного рівномірно розподіленого навантаження $q_{сн,m}$, яке в плані зображується у вигляді прямої лінії.

Перетворення поверхневого граничного розрахункового снігового навантаження на погонне граничне розрахункове навантаження, прикладене до ригеля рами, виконується аналогічно до методики приведення постійного навантаження від покриття.

$$q_{сн,m} = S_m * B * \gamma_n \quad (2.1.8)$$

$$q_{сн,m} = 1,4 * 13 * 1,1 = 20,02 \text{ кН/м}$$

Вертикальна опорна реакція ферми від снігового навантаження, що діє на колону:

$$V_{q_{\text{сн},m}} = \frac{q_{\text{сн},m} * L}{2} \quad (2.1.9)$$
$$V_{q_{\text{сн},m}} = \frac{20.02 * 24}{2} = 240.24 \text{ кН}$$

Згинальний момент від ексцентричної передачі реакції ферми на колону

$$M_{q_{\text{сн},m}} = V_{q_{\text{сн},m}} e = V_{q_{\text{сн},m}} \frac{b_b}{2} \quad (2.1.10)$$
$$M_{q_{\text{сн},m}} = 240.24 * \frac{0.44}{2} = 52.85 \text{ кНм}$$

Експлуатаційне розрахункове значення обчислюється за формулою.

$$S_e = \gamma_{fe} * S_o * C \quad (2.1.11)$$

де γ_{fe} - - коефіцієнт надійності за експлуатаційним значенням снігового навантаження, який відповідно до п. 8.12 приймається рівним:

$$\eta = 0.02 \Rightarrow \gamma_{fe} = 0.49$$

$\eta = 0.02$, оскільки проєктована промислова будівля не належить до об'єктів масового будівництва.

$$S_e = 0,49 * 1,4 * 1 = 0,686 \text{ кН/м}^2$$

Поверхнєве снігове навантаження приводиться до розрахункової схеми рами у вигляді погонного рівномірно розподіленого навантаження, яке в плані має вигляд прямої лінії.

Перехід від поверхневого граничного розрахункового снігового навантаження до погонного граничного розрахункового навантаження, що діє на ригель рами, здійснюється за тією ж методикою, що й приведення постійного навантаження від покриття.

$$q_{\text{сн},e} = S_e * B * \gamma_n \quad 2.1.12$$
$$q_{\text{сн},e} = 0.686 * 13 * 1.1 = 9.81 \text{ кН/м}$$

Вертикальна опорна реакція ферми від дії снігового навантаження, що передається на колону:

$$V_{q_{ch,e}} = \frac{q_{ch,e} * L}{2} \quad (2.1.13)$$

$$V_{q_{ch,e}} = \frac{q_{ch,e} * L}{2} = \frac{9.81 * 24}{2} = 117.72 \text{ кН}$$

Згинальний момент, який виникає внаслідок ексцентричної передачі опорної реакції ферми на колону:

$$M_{q_{ch,e}} = V_{q_{ch,e}} * e = V_{q_{ch,e}} * \frac{b_b}{2} \quad (2.1.14)$$

$$M_{q_{ch,e}} = 117.72 * \frac{0.44}{2} = 25.9 \text{ кНм}$$



Рис.2.1.3 Схема прикладання снігових навантажень

2.1.2.3 Вітрове навантаження

Згідно з вимогами ДБН «Навантаження і впливи», граничне розрахункове значення інтенсивності поверхневого вітрового навантаження визначається за такою залежністю:

$$w_m = w_o * \gamma_{fm} * c \quad (2.1.15)$$

$$w_m = w_o * \gamma_{fm} * c$$

Для активної складової вітрового тиску:

$$q_m^a = w_o * \gamma_{fm} * c_{aer}^a * c_h * B * \gamma_n \quad (2.1.16)$$

Для пасивної складової вітрового тиску:

$$q_m^п = w_o * \gamma_{fm} * c_{aer}^п * c_h * B * \gamma_n \quad (2.1.17)$$

де γ_{fm} - коефіцієнт надійності за граничним значенням вітрового навантаження, який відповідно до ДБН «Навантаження і впливи» [1] приймається залежно від встановленого строку експлуатації будівлі. Для нормативного терміну служби 50 років приймаємо. $\gamma_{fm} = 1$.

w_o - характеристичне значення вітрового тиску, яке згідно з п. 9.6 визначається за вітровим районом будівництва відповідно до додатка Е. Для району будівництва приймаємо $w_o=450$ Па=0,45 кН/м.

Таблиця 2.1.4 Кліматичні характеристики району будівництва

Міста обласного підпорядкування	W_0 (Па)	S_0 (Па)	b (Па)	W_B (Па)
Горішні плавні	450	1400	19	250

c - коефіцієнт, що обчислюється за формулою:

$$c = c_{aer} * c_h * c_{alt} * c_{rel} * c_{dir} * c_d \quad (2.1.18)$$

де c_{aer} - аеродинамічний коефіцієнт;

$$c_{aer} = c_{aer}^a = 0.8$$

$$c_{aer} = c_{aer}^a = 0.6$$

$c_{alt}=1$ - коефіцієнт географічної висоти;

$c_{rel}=1$ - коефіцієнт рельєфу;

$c_{dir}=1$ - - коефіцієнт напрямку;

$c_d=1$ - коефіцієнт динамічності;

Таблиця 2.1.5 Коефіцієнт висоти споруди c_h для різних типів місцевості.

	c_h для типу місцевості			
	I	II	III	IV
≤ 5	1,40	1,20	0,90	0,60
10	1,80	1,50	1,20	1,00
20	1,95	1,85	1,55	1,40

Тип місцевості приймаємо **III**, оскільки проєктована будівля розташовується в межах промислової забудови,

Для побудови епюри вітрового навантаження на раму попередньо визначаємо величини вітрового тиску на рівні характерних відміток конструкції.

Визначаємо ординати епюри вітрового навантаження для активної та пасивної складових на характерних висотних відмітках конструкції: 5 м, 10 м та 20 м.

На підставі отриманих значень будуємо епюри активного і пасивного вітрового тиску, які використовуються для подальшого розрахунку рами на дію вітрового навантаження.

$$q_{m,5m}^a = 0.52 * 1 * 0.8 * 0.9 * 13 * 1.1 = 5.35 \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}} \right]$$

$$q_{m,5m}^n = 0.52 * 1 * 0.6 * 0.9 * 13 * 1.1 = 4.02 \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}} \right]$$

$$q_{m,10m}^a = 0.52 * 1 * 0.8 * 1.2 * 13 * 1.1 = 7.14 \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}} \right]$$

$$q_{m,10m}^n = 0.52 * 1 * 0.6 * 1.2 * 13 * 1.1 = 5.35 \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}} \right]$$

$$q_{m,20m}^a = 0.52 * 1 * 0.8 * 1.55 * 13 * 1.1 = 9.22 \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}} \right]$$

$$q_{m,20m}^n = 0.52 * 1 * 0.6 * 1.55 * 13 * 1.1 = 6.92 \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}} \right]$$

Для трапецієподібних ділянок епюр вітрового тиску необхідні проміжні ординати визначаємо методом лінійної інтерполяції між відомими значеннями на характерних висотних відмітках.

- | | |
|--|-----------------|
| 1) на рівні головки рейки РГР = 12.43 м | 1) $c_h = 1.28$ |
| q_m^a та q_m^n 2) для відмітки $H_o=16.2$ м | 2) $c_h = 1.42$ |
| 3) для відмітки $(H_o + h_\phi)=16.2+2.37=18.57$ | 3) $c_h = 1.5$ |

$$q_{m, 12.43m}^a = 0.52 * 1 * 0.8 * 1.28 * 13 * 1.1 = 7.61 \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}} \right]$$

$$q_{m, 12.42m}^n = 0.52 * 1 * 0.6 * 1.28 * 13 * 1.1 = 5.71 \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}} \right]$$

$$q_{m, 16.2\text{М}}^a = 0.52 * 1 * 0.8 * 1.42 * 13 * 1.1 = 8.45 \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}} \right]$$

$$q_{m, 16.2\text{М}}^n = 0.52 * 1 * 0.6 * 1.42 * 13 * 1.1 = 6.33 \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}} \right]$$

$$q_{m, 18.57\text{М}}^a = 0.52 * 1 * 0.8 * 1.5 * 13 * 1.1 = 8.92 \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}} \right]$$

$$q_{m, 18.57\text{М}}^n = 0.52 * 1 * 0.6 * 1.5 * 13 * 1.1 = 6.44 \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}} \right]$$

$$W_m^a = \frac{(8.45 + 8.92)}{2} 2.37 = 20.58$$

$$W_m^n = \frac{(6.33 + 6.44)}{2} 2.37 = 15.13$$

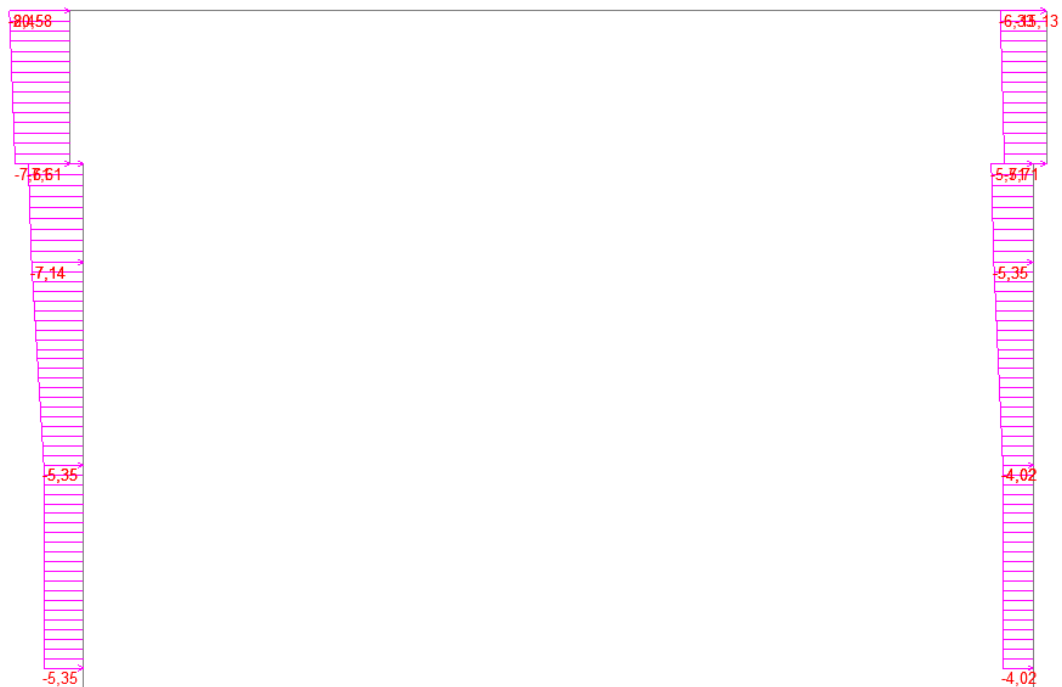


Рис.2.1.4 Схема прикладання вітрових навантажень зліва

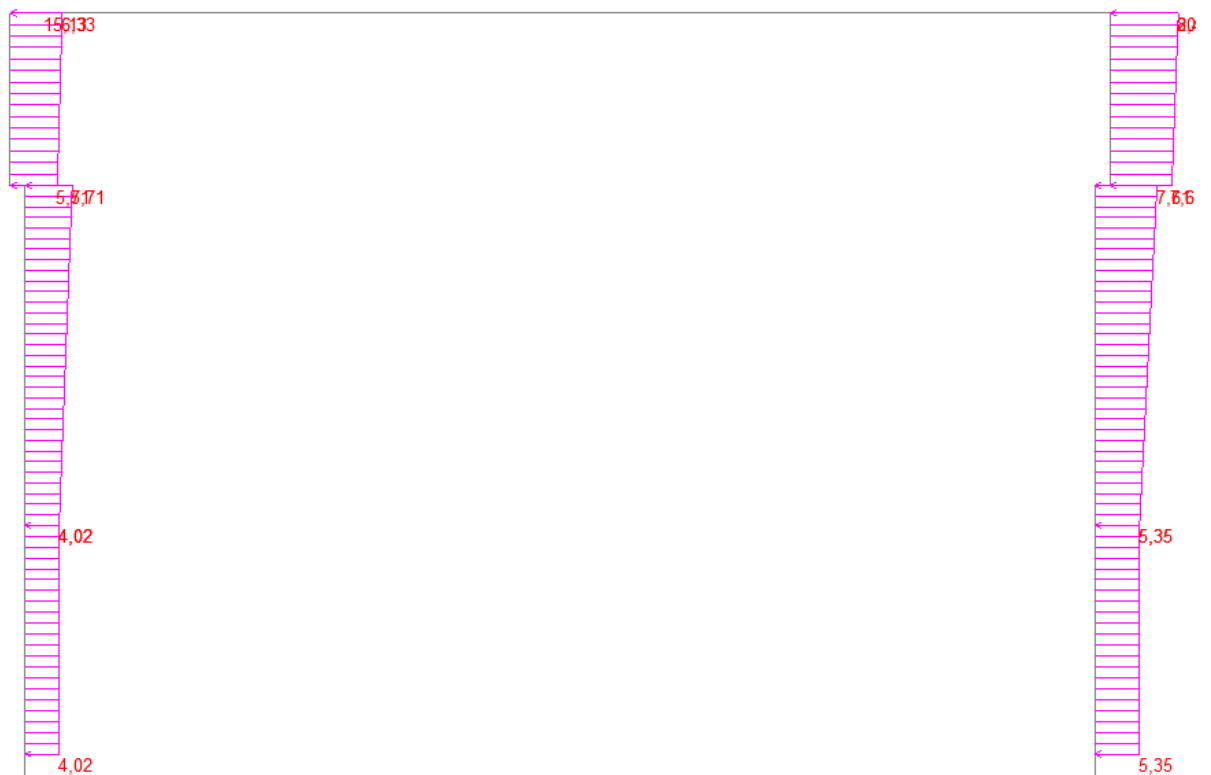


Рис.2.1.5 Схема прикладання вітрових навантажень зправа

2.1.2.4 Навантаження від мостових кранів

Таблиця 2.1.6 Параметри крана Q = 300/50кН

Q, т		Проліт будинку	Розміри, мм				Максимальний тиск колеса		Маса каретки G _к , кН	Маса крана з кареткою G _к , кН	Тип кранової рейки	Висота рейки h _р , мм	Висота підкранової балки h _б , мм, при кроці колон, м	
головний гак	додатковий гак		H _к	B ₁	B ₂	K	F _{к1max} , кН	F _{к2max} , кН					6	12
1	2		3	4	5	6	7	8					9	10
30	5	24	2750	300	6300	5100	315(326)		120	520(560)	КР-70	120	1000	1500
		30	2750		6300	5100	345(355)							
		36	3000		6860	5600	380(390)							
										740(800)				

Вертикальні навантаження

Відповідно до вимог ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [1], кранові навантаження визначаються з урахуванням групи режиму роботи мостових кранів. Орієнтовний перелік груп режимів роботи наведено в додатку Г зазначеного нормативного документа.

Граничне розрахункове значення вертикального кранового навантаження визначається за формулою:

$$F_m = \gamma_{fm} * \psi * F_{K,max}^n \quad (2.1.19)$$

де γ_{fm} - коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням кранового навантаження.

ψ - коефіцієнт сполучень кранових навантажень.

$F_{K,max}^n$ - характеристичне значення вертикального навантаження від двох найбільш несприятливих за впливом кранів, яке передається через колеса на балки кранової колії.

$$F_{K,max}^n = \frac{F_{K1,max}^n + F_{K2,max}^n}{2} \quad (2.1.20)$$

$$F_{K,max}^n = \frac{F_{K1,max}^n + F_{K2,max}^n}{2} = \frac{326 + 326}{2} = 326 \text{ кН}$$

За допомогою ліній впливу визначимо вертикальний тиск на колону від колеса крана

$$V_{max} = \gamma_n * \gamma_{fm} * \psi * F_{K,max}^n \sum_{i=1}^m y_i \quad (2.1.21)$$

$$V_{max} = 1,1 * 1,1 * 0,85 * 326 * 3,02 = 1012,6 \text{ кН}$$

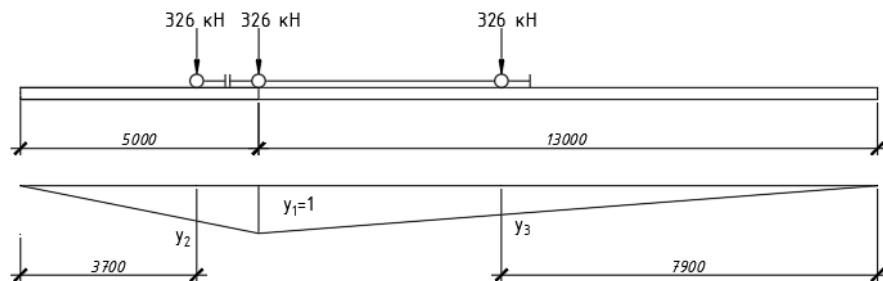


Рис.2.1.5 Схема дії найбільшого тиску від крана

$$\sum_{i=1}^m y_i = 1 + 0,74 + 0,61 = 2,35$$

Окрім тиску, що передається колесами мостового крана, у розрахунку необхідно враховувати також власну вагу двох підкранових балок. Попередньо власну вагу однієї підкранової балки визначаємо за наближеною залежністю, приймаючи її рівною 3 % від розрахункового кранового навантаження:

$$G_{п.б} = 0,03 * V_{max} \quad (2.1.22)$$

$$G_{п.б} = 0,03 * V_{max} = 0,03 * 1012,6 = 30,38 \text{ кН}$$

Отже, сумарне вертикальне навантаження, що передається на колону з урахуванням власної ваги підкранових балок, становить:

$$D_{max} = V_{max} + \frac{2G_{п.б}}{2} = V_{max} + G_{п.б} \quad (2.1.23)$$

$$D_{max} = 1012,6 + 30,38 = 1042,98 \text{ кН}$$

Згинальний момент від позацентрового прикладання вертикального кранового навантаження відносно центральної осі перерізу колони визначаємо за відповідною формулою:

$$M_{max} = D_{max} * e_k \quad (2.1.24)$$

$$M_{max} = D_{max} * e_k = 1042,98 * 0,545 = 568,42$$

e_k - ексцентриситет прикладання кранового навантаження:

$$e_k = \frac{b_H}{2} \quad (2.1.25)$$

$$e_k = \frac{1090}{2} = 545 = 0,545 \text{ м}$$

Аналогічно визначаємо вертикальний тиск, що передається на протилежну колону, яка є найбільш віддаленою від вантажного візка крана. Для цього використовуємо мінімальне характеристичне значення вертикального навантаження від двох найбільш несприятливих за впливом мостових кранів.

Мінімальне характеристичне значення вертикального кранового навантаження визначаємо за формулою:

$$F_{K,min}^n = \frac{G_k + Q}{n_0} - F_{K,max}^n \quad (2.1.26)$$

$$F_{K,min}^n = \frac{560 + 500}{2} - 326 = 204 \text{ кН}$$

де G_k - вага крана з візком;

Q - вантажність крана;

n_0 - кількість коліс моста крану з одного його боку.

$$V_{min} = \gamma_n * \gamma_{fm} * \psi * F_{K,min}^n \sum_{i=1}^m y_i \quad (2.1.27)$$

$$V_{min} = 1.1 * 1.1 * 0.85 * 204 * 2.35 = 493.06 \text{ кН}$$

$$D_{min} = V_{min} + G_{п.6} \quad (2.1.28)$$

$$D_{min} = 493.06 + 30.38 = 523.44 \text{ кН}$$

$$M_{min} = D_{min} * e_k \quad (2.1.29)$$

$$M_{min} = D_{min} * e_k = 523.44 * 0.545 = 284.27 \text{ кН * м}$$

Граничне розрахункове значення сумарної горизонтальної реакції $H_{m,max}$, що виникає від дії мостових кранів, визначаємо аналогічно до вертикальних навантажень за допомогою ліній впливу опорних реакцій підкранових балок.

$$H_{m,max} = \gamma_n * \gamma_{fm} * \psi * H_k^n \sum_{i=1}^m y_i \quad (2.1.30)$$

$$H_{m,max} = 1.1 * 1.1 * 0.85 * 32.6 * 2.35 = 78.79 \text{ кН}$$

Відповідно до ДБН «Навантаження і впливи» [1] H_k^n - характеристичне значення бічної сили, прикладеної до одного колеса багатоколісного мостового крана. Для кранів із жорстким підвісом вантажозахоплювального органу ця величина визначається за нормативною залежністю:

$$H_{m,max} = \gamma_n * \gamma_{fm} * \psi * H_k^n \sum_{i=1}^m y_i \quad (2.1.31)$$

$$H_c^n = 0.1 * F_{K,max}^n = 0.1 * 326 = 32.6 \text{ кН}$$

$$H_k^n = 0.1 * F_{K,max}^n \quad (2.1.32)$$

$$H_k^n = 0.1 * 326 + \frac{0.03(326 - 204) * 66}{13} = 51.18 \text{ кН}$$

Розглядаються усі можливі випадки положення бічних сил чотирьохколісного крану:

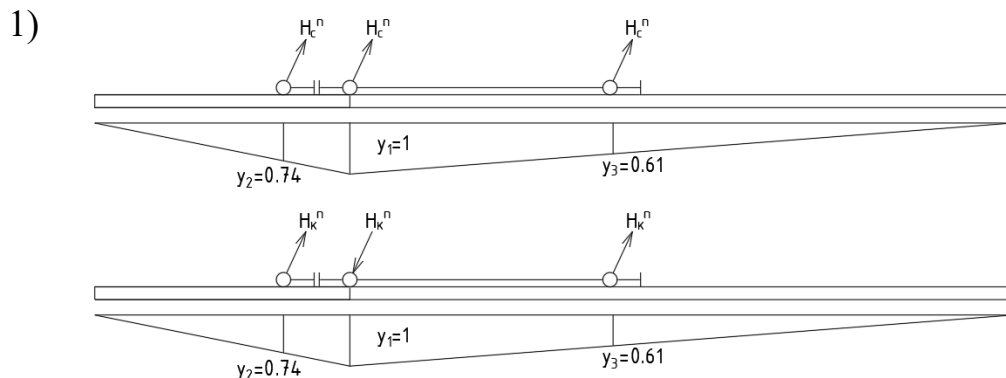


Рисунок 2.1.6- Положення бічних сил(випадок 1).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (-32,6 \cdot (0,9 + 1 + 0,61)) = -84,16 \text{ кН}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (-0,9 + 1 - 0,61)) = -26,89 \text{ кН}$$

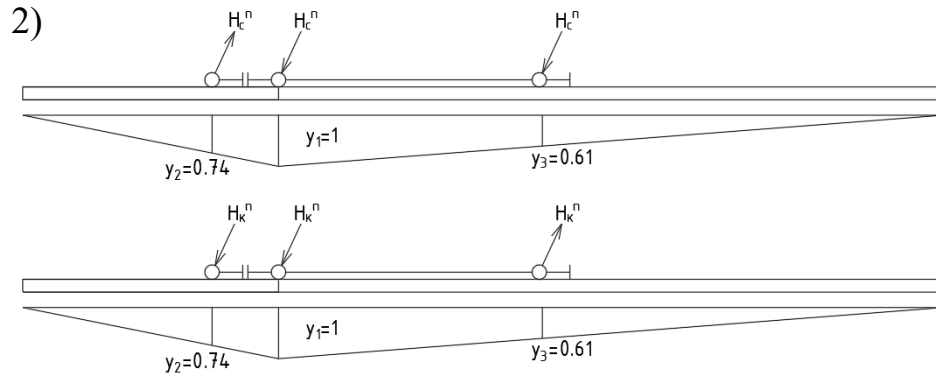


Рисунок 2.1.7- Положення бічних сил(випадок 2).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot (-0,9 + 1 + 0,61)) = 23,84 \text{ кН}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (0,9 + 1 - 0,61)) = 67,87 \text{ кН}$$

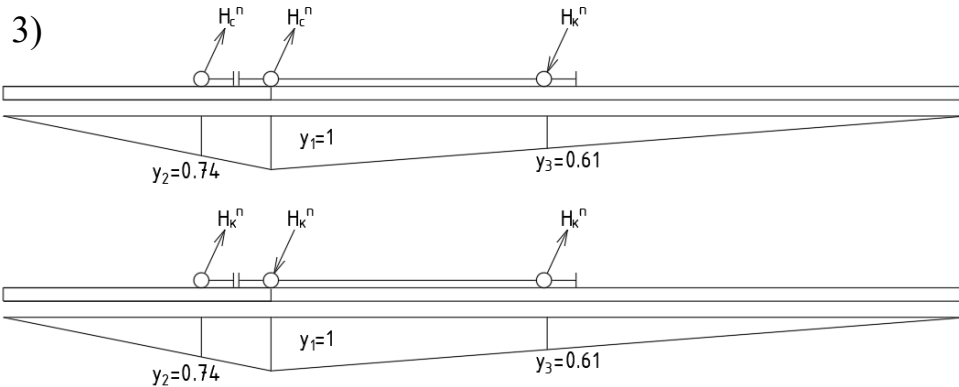


Рисунок 2.1.7- Положення бічних сил(випадок 3).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot (-0,9 - 1) - 51,18 \cdot 0,61) = -95,81 \text{ кН}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (-0,9 - 1 - 0,61)) = -132,12 \text{ кН}$$

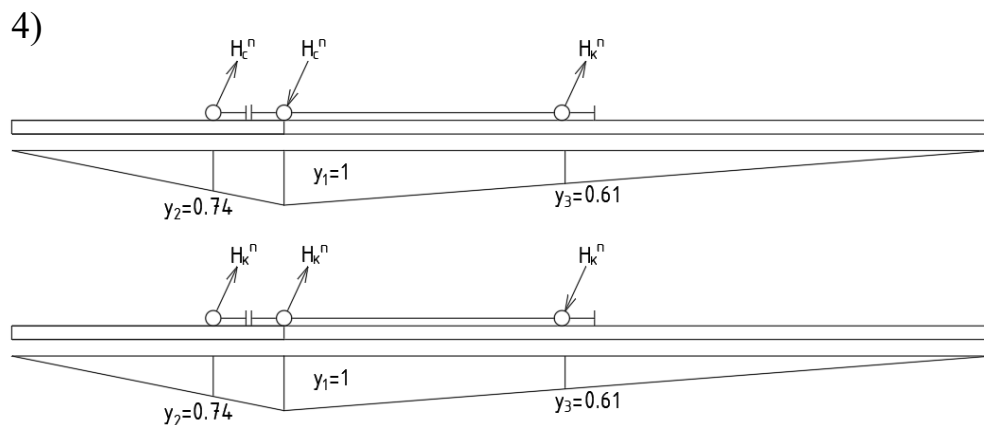


Рисунок 2.1.8- Положення бічних сил(випадок 4).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot (-0,9 + 1) + 51,18 \cdot 0,61) = 35,49 \text{ кН}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (0,9 + 1 - 0,61)) = 67,85 \text{ кН}$$

5)

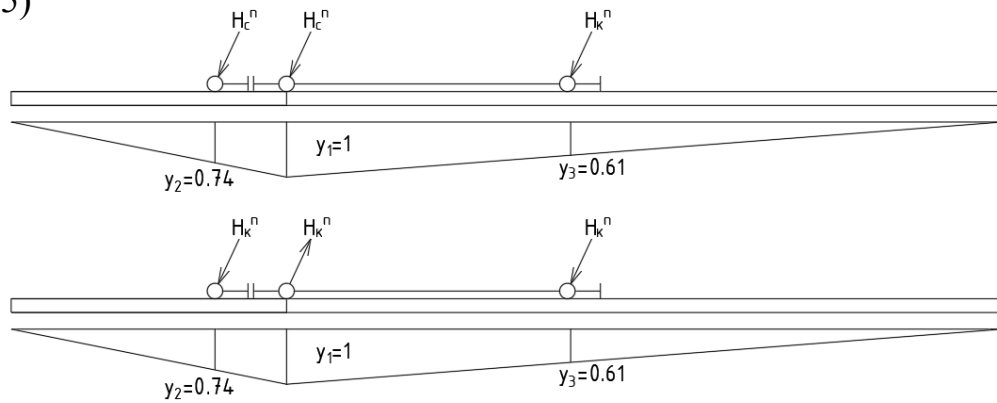


Рисунок 2.1.9- Положення бічних сил(випадок 5).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot (0,9 + 1 + 0,61)) = \mathbf{84,16 \text{ кН}}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (0,9 - 1 + 0,61)) = \mathbf{26,89 \text{ кН}}$$

6)

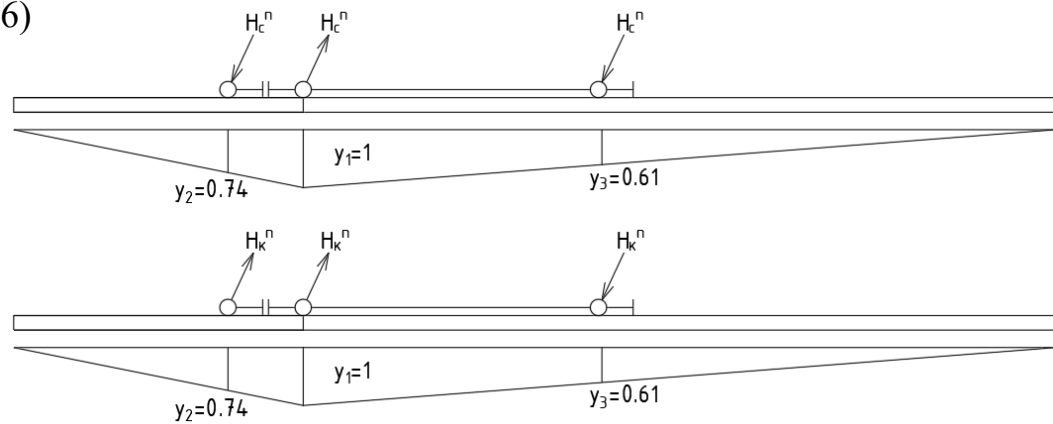


Рисунок 2.1.10- Положення бічних сил(випадок 6).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot (0,9 - 1 - 0,61)) = \mathbf{-23,84 \text{ кН}}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (-0,9 - 1 + 0,61)) = \mathbf{-67,87 \text{ кН}}$$

7)

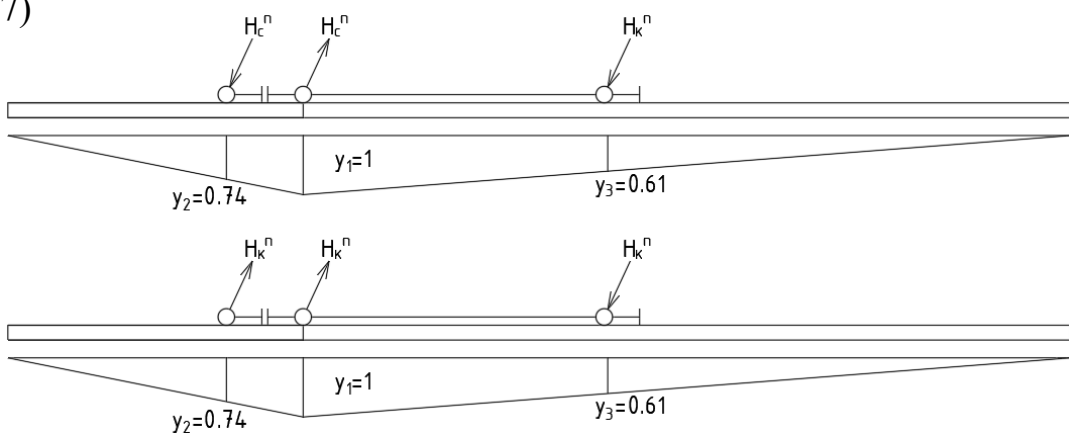


Рисунок 2.1.11 - Положення бічних сил(випадок 7).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot (0,9 - 1) - 51,18 \cdot 0,61) = \mathbf{-35,49 \text{ кН}}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (-0,9 - 1 + 0,61)) = \mathbf{-67,85 \text{ кН}}$$

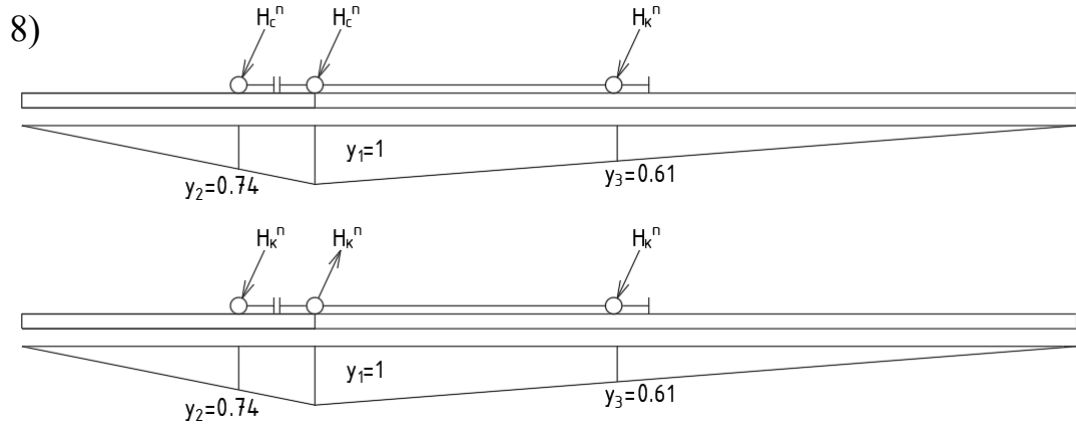


Рисунок 2.1.12- Положення бічних сил(випадок 8).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot (0,9 + 1) + 51,18 \cdot 0,61) = \mathbf{95,81 \text{ кН}}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (0,9 + 1 - 0,61)) = \mathbf{67,9 \text{ кН}}$$

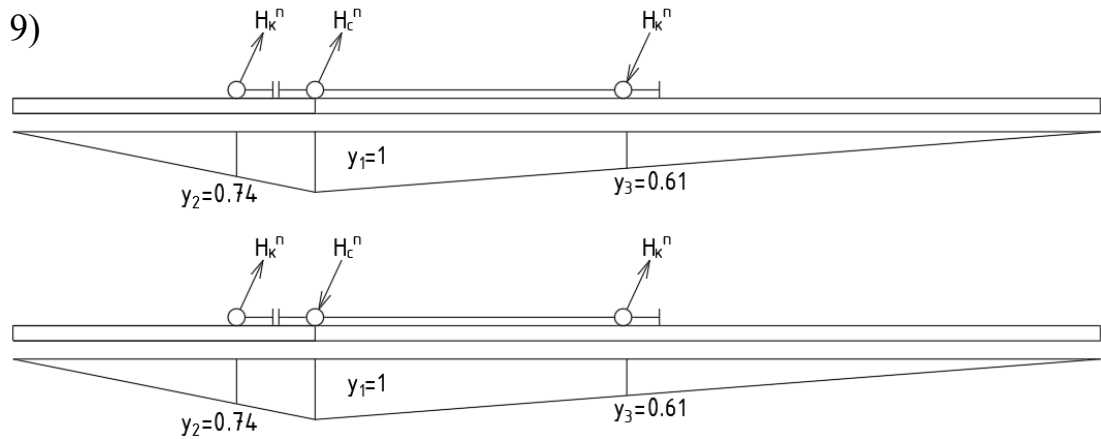


Рисунок 2.1.13- Положення бічних сил(випадок 9).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (-32,6 \cdot 1 - 51,18 \cdot (0,9 + 0,61)) = \mathbf{-113,01 \text{ кН}}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (-51,18 \cdot (0,9 + 0,61) + 32,6 \cdot 1) = \mathbf{-45,96 \text{ кН}}$$

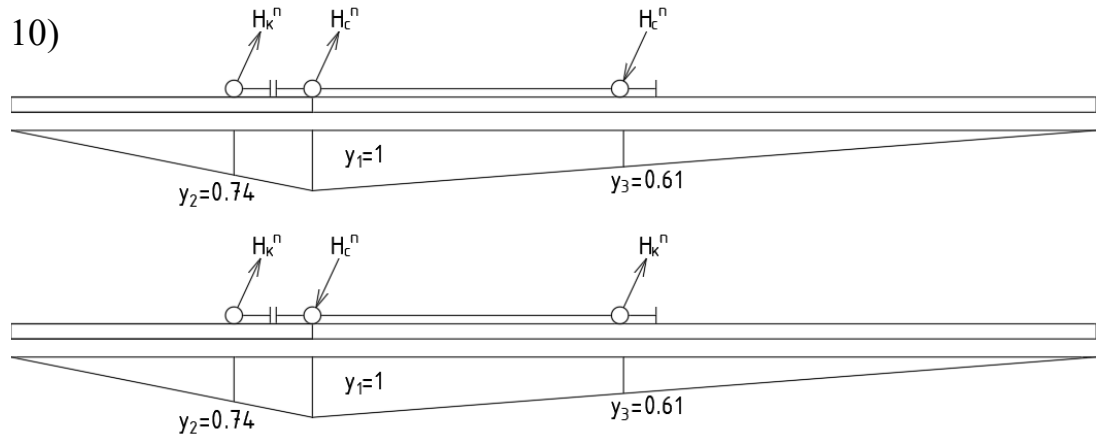


Рисунок 2.1.14- Положення бічних сил(випадок 10).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot (-1 - 0,61) - 51,18 \cdot 0,9) = \mathbf{-101,44 \text{ кН}}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (-51,18 \cdot (0,9 + 0,61) + 32,6 \cdot 1) = \mathbf{-45,98 \text{ кН}}$$

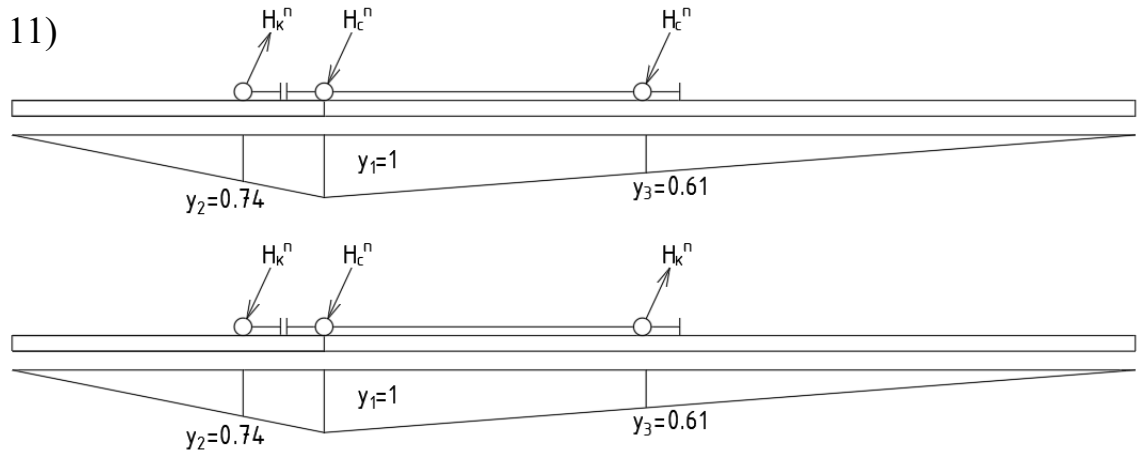


Рисунок 2.1.15- Положення бічних сил(випадок 11).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot (1 + 0,61) - 51,18 \cdot 0,9) = \mathbf{6,62 \text{ кН}}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (0,9 - 0,61) + 32,6 \cdot 1) = \mathbf{48,85 \text{ кН}}$$

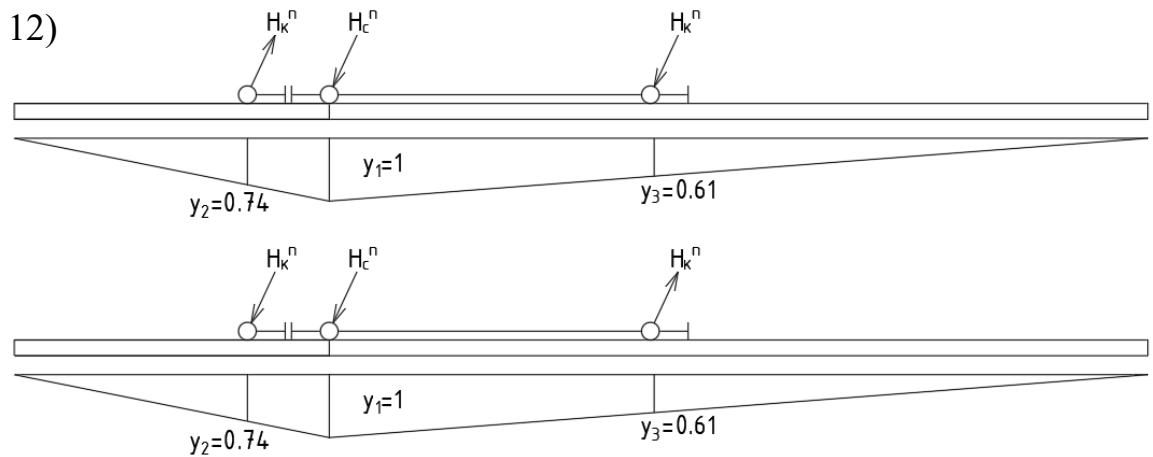


Рисунок 2.1.16- Положення бічних сил(випадок 12).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot 1 + 51,18 \cdot (-0,9 + 0,61)) = \mathbf{18,28 \text{ кН}}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (0,9 - 0,61) + 32,6 \cdot 1) = \mathbf{48,85 \text{ кН}}$$

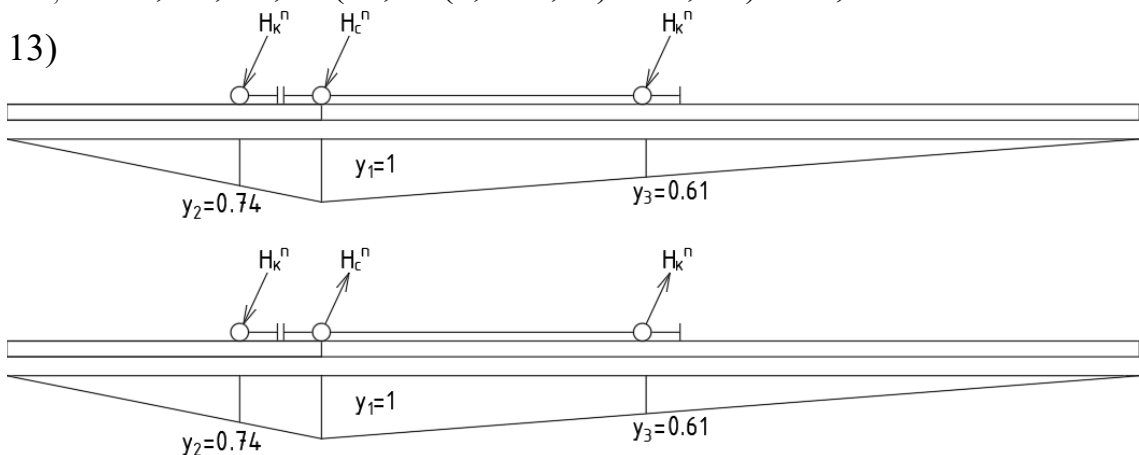


Рисунок 2.1.17- Положення бічних сил(випадок 13).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot 1 + 51,18 \cdot (0,9 + 0,61)) = \mathbf{113,01 \text{ кН}}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (0,9 + 0,61) - 32,6 \cdot 1) = \mathbf{45,96 \text{ кН}}$$

14)

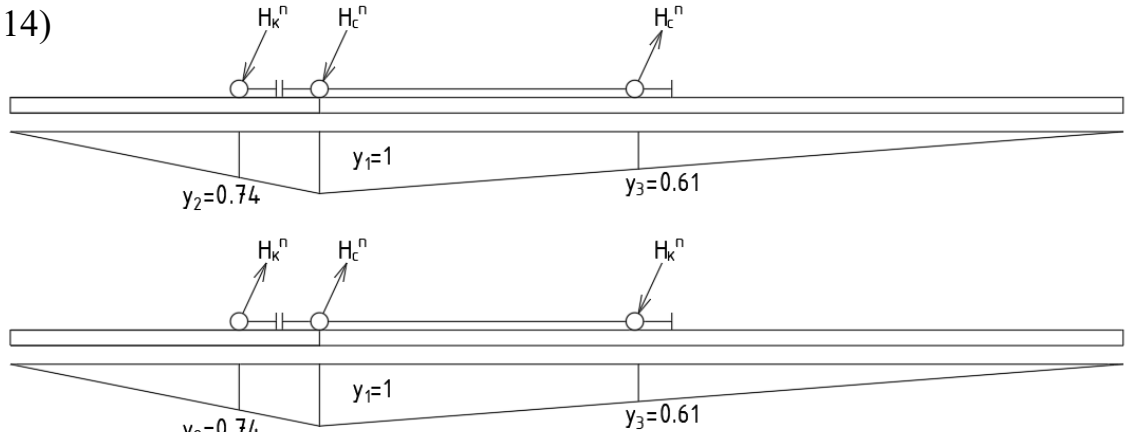


Рисунок 2.1.18- Положення бічних сил(випадок 14).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot (-1 - 0,61) + 51,18 \cdot 0,9) = \mathbf{-6,62 \text{ кН}}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (-0,9 + 0,61) - 32,6 \cdot 1) = \mathbf{-48,85 \text{ кН}}$$

15)

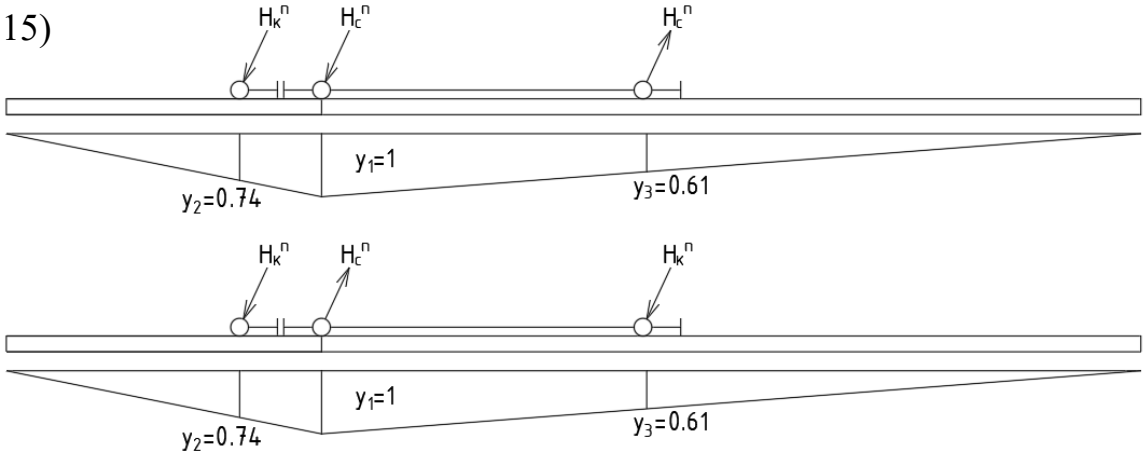


Рисунок 2.1.19- Положення бічних сил(випадок 15).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot (1 + 0,61) + 51,18 \cdot 0,9) = \mathbf{101,44 \text{ кН}}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (0,9 + 0,61) - 32,6 \cdot 1) = \mathbf{45,98 \text{ кН}}$$

16)

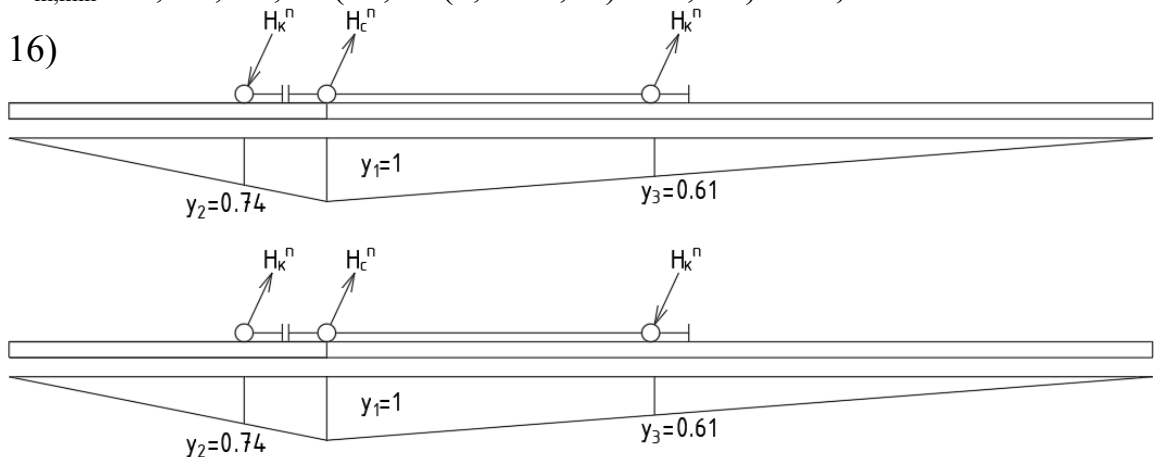


Рисунок 2.1.20- Положення бічних сил (випадок 16).

$$H_{m,max} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (32,6 \cdot (-1) + 51,18 \cdot (0,9 - 0,61)) = -18,28 \text{ кН}$$

$$H_{m,min} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot (51,18 \cdot (-0,9 + 0,61) - 32,6 \cdot 1) = -48,85 \text{ кН}$$

Із розрахунків найбільш не вигідними випадками є випадки 1, 3, 9, 10, 13, 15.

Далі приймаються до розгляду випадки 3 та 9.

2.1.3 Визначення жорсткостей елементів рами

Відповідно до прийнятої конструктивної схеми поперечної рами обираємо її розрахункову схему та основну систему. Для подальшого розрахунку попередньо визначаємо геометричні характеристики основних елементів рами. З метою спрощення розрахунку наскрізну ферму покриття замінюємо еквівалентним за жорсткістю суцільним ригелем.

$$I_p = \frac{M_{max} \cdot h_{\phi}}{2 \cdot R_y} \cdot \mu \cdot 1.15 \quad (2.1.33)$$

$$I_p = \frac{2244.96 \cdot 3}{2 \cdot 240000} \cdot 0.9 \cdot 1.15 = 0.01452 \text{ м}^4$$

де M_{max} – згинальний момент посередині ригеля;

h_p – висота ригеля посередині прольоту;

R_y – розрахунковий опір сталі С245;

1,15 – коефіцієнт, що враховує відношення усередненої площі перерізу поясів до площі нижнього поясу.

$\mu = 0,9$ – для ферм з паралельними поясами.

$$M_{max} = \frac{(q_m + q_{ch,m}) \cdot L^2}{8} \quad (2.1.34)$$

$$M_{max} = \frac{(11.16 + 20.02) \cdot 24^2}{8} = 2244.96 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$A_p = \frac{4 \cdot I_p}{h_{\phi}^2} \quad (2.1.35)$$

$$A_p = \frac{4 \cdot 0.01452}{3^2} = 0.00645 \text{ м}^2$$

Визначення моментів інерції та площі нижньої частини колони:

$$I_1 = \frac{(N + 2 * D_{max}) * b_H^2}{K_1 * R_y} \quad (2.1.36)$$

$$I_1 = \frac{(251.64 + 2 * 1042.98) * 1.09^2}{3.8 * 240000} = 0.00289 \text{ м}^4$$

де k_1 – коефіцієнт, що залежить від типу перерізу, кроку колон і висоти рами (для кроку колон 12м - 3,2...3,8).

$$N = V_{qm} + V_{qm}^{CH} \quad (2.1.37)$$

$$N = 133.92 + 117.72 = 251.64 \text{ кН}$$

$$A_1 = \frac{4 * I_1}{b_H^2} \quad (2.1.38)$$

$$A_1 = \frac{4 * 0.00289}{1.09^2} = 0.00973 \text{ м}^2$$

Визначення моментів інерції та площі верхньої частини колони:

$$I_2 = \frac{I_1}{k_2 * (b_B/b_H)^2} \quad (2.1.39)$$

$$I_2 = \frac{0.00289}{1.6 * (0.44/1.09)^2} = 0.0111 \text{ м}^4$$

де k_2 - коефіцієнт, що враховує фактичну нерівність площ поперечних перерізів верхньої і нижньої частин колон (1,2...1,6).

$$A_2 = \frac{4 * I_2}{b_B^2} \quad (2.1.40)$$

$$A_2 = \frac{4 * 0.01110}{0.44^2} = 0.2293 \text{ м}^2$$

Жорсткості на розтяг-стиск та згин:

$E = 2,06 \cdot 10^4 \text{ кН} / \text{см}^2$ - модуль пружності сталі С245;

$EI_p = 2991120 \text{ кН} / \text{м}^2$;

$EA_p = 1328700 \text{ кН}$;

$EI_1 = 595340 \text{ кН} / \text{м}^2$;

$EA_1 = 2004380 \text{ кН}$;

$EI_2 = 2286600 \text{ кН} / \text{м}^2$;

$EA_2 = 47235800 \text{ кН}$.

2.1.4 Статичний розрахунок

Статичний розрахунок рами виконується для наведених вище розрахункових схем за допомогою програмного комплексу “SCAD”.

Вихідними даними для комп'ютерного розрахунку є:

1. Геометрія рами (координати вузлів);
2. Умови закріплення;
3. Жорсткості ригеля й ділянок колон;
4. Комбінації навантажень.

Будуються розрахункові схеми рами від окремих завантажень:

1. Постійне від покриття;
2. Снігове;
3. Вітер зліва направо;
4. Вітер справа наліво;
5. Кранове вертикальне D_{max} на лівій колоні, D_{max} на правій колоні;
6. Кранове вертикальне D_{max} на правій колоні, D_{min} на правій колоні;
7. Кранове вертикальне D_{min} на лівій колоні, D_{max} на правій колоні;
8. Кранове вертикальне D_{min} на правій колоні, D_{min} на правій колоні;
9. Сила H_{max} на правій колоні;
10. Сила H_{max} на лівій колоні.

Комбінації навантажень:

1. (1) + (2);
2. (1) + (3);
3. (1) + (4);
4. (1) + 0,9 (2 + 3);
5. (1) + 0,9 (2 + 4);
6. (1) + (5) + (9);
7. (1) + (6) + (9);
8. (1) + (7) + (10);
9. (1) + (8) + (10);
10. (1) + 0,9 (5 + 9 + 2);

11. $(1) + 0,9 (6 + 9 + 2);$
12. $(1) + 0,9 (7 + 10 + 2);$
13. $(1) + 0,9 (8 + 10 + 2);$
14. $(1) + 0,9 (5 + 9 + 3);$
15. $(1) + 0,9 (6 + 9 + 3);$
16. $(1) + 0,9 (7 + 10 + 3);$
17. $(1) + 0,9 (8 + 10 + 3);$
18. $(1) + 0,9 (5 + 9 + 4);$
19. $(1) + 0,9 (6 + 9 + 4);$
20. $(1) + 0,9 (7 + 10 + 4);$
21. $(1) + 0,9 (8 + 10 + 4);$
22. $(1) + 0,9 (2 + 3 + 5 + 9);$
23. $(1) + 0,9 (2 + 3 + 6 + 9);$
24. $(1) + 0,9 (2 + 3 + 7 + 10);$
25. $(1) + 0,9 (2 + 3 + 8 + 10);$
26. $(1) + 0,9 (2 + 4 + 5 + 9);$
27. $(1) + 0,9 (2 + 4 + 6 + 9);$
28. $(1) + 0,9 (2 + 4 + 7 + 10);$
29. $(1) + 0,9 (2 + 4 + 8 + 10).$

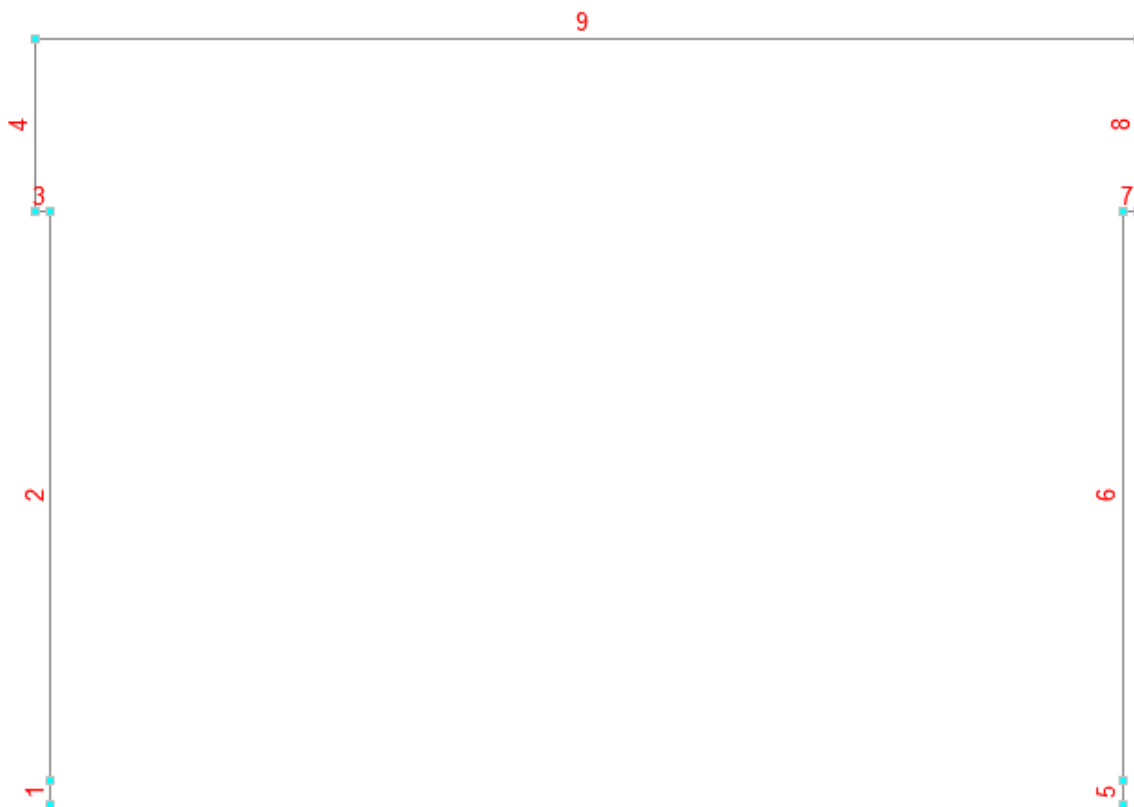


Рис. 2.1.21 Рама в програмному комплексі SCAD з нумерацією елементів

Результати розрахунку зазначені в таблиці 2.1.7:

Зусилля від комбінацій навантажень наведені в таблиці 2.1.7.

Величини зусиль від комбінації завантажень					
Елемент	Переріз	Комбінація	Значення		
			N	M_y	Q_z
1	1	1	-375,095	-334,232	62,715
1	1	2	-92,224	576,243	-94,518
1	1	3	-176,056	-769,358	126,224
1	1	4	-313,183	313,513	-46,581
1	1	5	-388,632	-897,528	152,088
1	1	6	-1171,651	-291,509	61,491
1	1	7	-1160,827	-233,304	52,792
1	1	8	-674,103	-409,105	71,902
1	1	9	-663,279	-350,901	63,203
1	1	10	-1284,668	-467,463	93,828
1	1	11	-1274,926	-415,08	85,999
1	1	12	-836,874	-573,3	103,198

Продовження Таблиці 2.1.7

Величини зусиль від комбінації завантажень					
Елемент	Переріз	Комбінація	Значення		
			N	M_y	Q_z
1	1	13	-827,133	-520,917	95,369
1	1	14	-1030,083	351,964	-47,683
1	1	15	-1020,342	404,348	-55,511
1	1	16	-582,29	246,127	-38,312
1	1	17	-572,548	298,511	-46,141
1	1	18	-1105,532	-859,077	150,985
1	1	19	-1095,791	-806,693	143,157
1	1	20	-657,739	-964,914	160,356
1	1	21	-595,653	-903,962	150,786
1	1	22	-1246,84	158,821	-11,441
1	1	23	-1237,098	211,205	-19,27
1	1	24	-799,046	52,984	-2,071
1	1	25	-789,305	105,368	-9,9
1	1	26	-1322,289	-1052,22	187,227
1	1	27	-1312,547	-999,836	179,398
1	1	28	-874,495	-1158,057	196,597
1	1	29	-864,754	-1105,673	188,768
2	1	1	-375,095	-302,874	62,715
2	1	2	-92,224	528,984	-94,518
2	1	3	-176,056	-706,246	126,224
2	1	4	-313,183	290,223	-46,581
2	1	5	-388,632	-821,484	152,088
2	1	6	-1171,651	-260,763	61,491
2	1	7	-1160,827	-206,908	52,792
2	1	8	-674,103	-373,154	71,902
2	1	9	-663,279	-319,299	63,203
2	1	10	-1284,668	-420,55	93,828
2	1	11	-1274,926	-372,08	85,999
2	1	12	-836,874	-521,701	103,198
2	1	13	-827,133	-473,232	95,369

Продовження Таблиці 2.1.7

Величини зусиль від комбінації завантажень					
Елемент	Переріз	Комбінація	Значення		
			N	M_y	Q_z
2	1	14	-1030,083	328,123	-47,683
2	1	15	-1020,342	376,592	-55,511
2	1	16	-582,29	226,971	-38,312
2	1	17	-572,548	275,44	-46,141
2	1	18	-1105,532	-783,584	150,985
2	1	19	-1095,791	-735,115	143,157
2	1	20	-657,739	-884,736	160,356
2	1	21	-595,653	-828,569	150,786
2	1	22	-1246,84	153,1	-11,441
2	1	23	-1237,098	201,57	-19,27
2	1	24	-799,046	51,949	-2,071
2	1	25	-789,305	100,418	-9,9
2	1	26	-1322,289	-958,607	187,227
2	1	27	-1312,547	-910,137	179,398
2	1	28	-874,495	-1059,758	196,597
2	1	29	-864,754	-1011,289	188,768
3	1	1	62,715	476,676	375,095
3	1	2	-18,622	-208,499	92,224
3	1	3	69,977	536,613	176,056
3	1	4	21,726	104,869	313,183
3	1	5	101,465	775,47	388,632
3	1	6	61,491	-64,854	128,671
3	1	7	52,792	-119,123	117,847
3	1	8	71,902	236,319	150,663
3	1	9	63,203	182,05	139,839
3	1	10	93,828	234,15	345,986
3	1	11	85,999	185,308	336,244
3	1	12	103,198	505,205	365,778
3	1	13	95,369	456,363	356,037
3	1	14	20,624	-382,507	91,401

Продовження Таблиці 2.1.7

Величини зусиль від комбінації завантажень					
Елемент	Переріз	Комбінація	Значення		
			N	M_y	Q_z
3	1	15	12,795	-431,349	81,66
3	1	16	29,994	-111,452	111,194
3	1	17	22,166	-160,294	101,452
3	1	18	100,363	288,093	166,85
3	1	19	92,534	239,251	157,109
3	1	20	109,733	559,148	186,643
3	1	21	100,164	524,797	176,901
3	1	22	56,865	-107,05	308,158
3	1	23	49,037	-155,892	298,416
3	1	24	66,236	164,005	327,95
3	1	25	58,407	115,163	318,209
3	1	26	136,605	563,55	383,607
3	1	27	128,776	514,708	373,865
3	1	28	145,975	834,606	403,399
3	1	29	138,146	785,763	393,658
4	1	1	-375,095	598,582	62,715
4	1	2	-92,224	-178,526	-18,622
4	1	3	-176,056	593,831	69,977
4	1	4	-313,183	206,654	21,726
4	1	5	-388,632	901,775	101,465
4	1	6	-128,671	-23,035	61,491
4	1	7	-117,847	-80,823	52,792
4	1	8	-150,663	285,284	71,902
4	1	9	-139,839	227,497	63,203
4	1	10	-345,986	346,596	93,828
4	1	11	-336,244	294,587	85,999
4	1	12	-365,778	624,083	103,198
4	1	13	-356,037	572,075	95,369
4	1	14	-91,401	-352,802	20,624
4	1	15	-81,66	-404,81	12,795

Продовження Таблиці 2.1.7

Величини зусиль від комбінації завантажень					
Елемент	Переріз	Комбінація	Значення		
			N	M_y	Q_z
4	1	16	-111,194	-75,314	29,994
4	1	17	-101,452	-127,322	22,166
4	1	18	-166,85	342,32	100,363
4	1	19	-157,109	290,311	92,534
4	1	20	-186,643	619,807	109,733
4	1	21	-176,901	582,29	100,164
4	1	22	-308,158	-6,899	56,865
4	1	23	-298,416	-58,907	49,037
4	1	24	-327,95	270,589	66,236
4	1	25	-318,209	218,581	58,407
4	1	26	-383,607	688,223	136,605
4	1	27	-373,865	636,214	128,776
4	1	28	-403,399	965,71	145,975
4	1	29	-393,658	913,702	138,146
5	1	1	-375,095	334,232	-62,715
5	1	2	-176,286	774,653	-127,019
5	1	3	-92,454	-570,385	93,598
5	1	4	-388,839	902,293	-152,803
5	1	5	-313,391	-308,24	45,752
5	1	6	-1182,819	436,549	-80,601
5	1	7	-674,103	409,105	-71,902
5	1	8	-1160,827	233,304	-52,792
5	1	9	-652,111	205,861	-44,093
5	1	10	-1294,719	598	-111,027
5	1	11	-836,874	573,3	-103,198
5	1	12	-1274,926	415,08	-85,999
5	1	13	-817,082	390,38	-78,17
5	1	14	-1115,79	994,378	-168,9
5	1	15	-657,946	969,679	-161,072
5	1	16	-1095,998	811,458	-143,873

Продовження Таблиці 2.1.7

Величини зусиль від комбінації завантажень					
Елемент	Переріз	Комбінація	Значення		
			N	M_y	Q_z
5	1	17	-638,153	786,759	-136,044
5	1	18	-1040,342	-216,155	29,655
5	1	19	-582,497	-240,855	37,484
5	1	20	-1020,549	-399,075	54,683
5	1	21	-510,361	-432,343	64,252
5	1	22	-1332,547	1187,521	-205,142
5	1	23	-874,702	1162,822	-197,313
5	1	24	-1312,754	1004,601	-180,114
5	1	25	-854,91	979,902	-172,285
5	1	26	-1257,098	-23,012	-6,586
5	1	27	-799,254	-47,712	1,243
5	1	28	-1237,306	-205,932	18,442
5	1	29	-779,461	-230,632	26,27
6	1	1	-375,095	302,874	-62,715
6	1	2	-176,286	711,143	-127,019
6	1	3	-92,454	-523,586	93,598
6	1	4	-388,839	825,891	-152,803
6	1	5	-313,391	-285,364	45,752
6	1	6	-1182,819	396,248	-80,601
6	1	7	-674,103	373,154	-71,902
6	1	8	-1160,827	206,908	-52,792
6	1	9	-652,111	183,814	-44,093
6	1	10	-1294,719	542,486	-111,027
6	1	11	-836,874	521,701	-103,198
6	1	12	-1274,926	372,08	-85,999
6	1	13	-817,082	351,295	-78,17
6	1	14	-1115,79	909,928	-168,9
6	1	15	-657,946	889,143	-161,072
6	1	16	-1095,998	739,522	-143,873
6	1	17	-638,153	718,737	-136,044

Продовження Таблиці 2.1.7

Величини зусиль від комбінації завантажень					
Елемент	Переріз	Комбінація	Значення		
			N	M_y	Q_z
6	1	18	-1040,342	-201,328	29,655
6	1	19	-582,497	-222,113	37,484
6	1	20	-1020,549	-371,734	54,683
6	1	21	-510,361	-400,217	64,252
6	1	22	-1332,547	1084,95	-205,142
6	1	23	-874,702	1064,165	-197,313
6	1	24	-1312,754	914,544	-180,114
6	1	25	-854,91	893,759	-172,285
6	1	26	-1257,098	-26,306	-6,586
6	1	27	-799,254	-47,09	1,243
6	1	28	-1237,306	-196,712	18,442
6	1	29	-779,461	-217,496	26,27
7	1	1	62,715	476,676	375,095
7	1	2	70,056	539,25	176,286
7	1	3	-18,702	-205,742	92,454
7	1	4	101,537	777,843	388,839
7	1	5	21,655	107,35	313,391
7	1	6	80,601	37,198	139,839
7	1	7	71,902	236,319	150,663
7	1	8	52,792	-119,123	117,847
7	1	9	44,093	79,997	128,671
7	1	10	111,027	325,997	356,037
7	1	11	103,198	505,205	365,778
7	1	12	85,999	185,308	336,244
7	1	13	78,17	364,516	345,986
7	1	14	117,634	382,313	177,108
7	1	15	109,805	561,522	186,85
7	1	16	92,606	241,624	157,316
7	1	17	84,777	420,833	167,057
7	1	18	37,752	-288,179	101,66

Продовження Таблиці 2.1.7

Величини зусиль від комбінації завантажень					
Елемент	Переріз	Комбінація	Значення		
			N	M_y	Q_z
7	1	19	29,923	-108,971	111,401
7	1	20	12,724	-428,869	81,867
7	1	21	3,155	-235,169	91,609
7	1	22	153,875	657,771	393,865
7	1	23	146,046	836,979	403,606
7	1	24	128,847	517,081	374,072
7	1	25	121,018	696,29	383,814
7	1	26	73,993	-12,722	318,416
7	1	27	66,164	166,486	328,158
7	1	28	48,965	-153,411	298,624
7	1	29	41,136	25,797	308,365
8	1	1	-375,095	-598,582	-62,715
8	1	2	-176,286	-596,543	-70,056
8	1	3	-92,454	175,695	18,702
8	1	4	-388,839	-904,216	-101,537
8	1	5	-313,391	-209,202	-21,655
8	1	6	-139,839	-82,646	-80,601
8	1	7	-150,663	-285,284	-71,902
8	1	8	-117,847	80,823	-52,792
8	1	9	-128,671	-121,816	-44,093
8	1	10	-356,037	-441,709	-111,027
8	1	11	-365,778	-624,083	-103,198
8	1	12	-336,244	-294,587	-85,999
8	1	13	-345,986	-476,961	-78,17
8	1	14	-177,108	-439,874	-117,634
8	1	15	-186,85	-622,248	-109,805
8	1	16	-157,316	-292,752	-92,606
8	1	17	-167,057	-475,126	-84,777
8	1	18	-101,66	255,14	-37,752
8	1	19	-111,401	72,766	-29,923

Продовження Таблиці 2.1.7

Величини зусиль від комбінації завантажень					
Елемент	Переріз	Комбінація	Значення		
			N	M_y	Q_z
8	1	20	-81,867	402,262	-12,724
8	1	21	-91,609	205,396	-3,155
8	1	22	-393,865	-785,777	-153,875
8	1	23	-403,606	-968,151	-146,046
8	1	24	-374,072	-638,655	-128,847
8	1	25	-383,814	-821,029	-121,018
8	1	26	-318,416	-90,763	-73,993
8	1	27	-328,158	-273,137	-66,164
8	1	28	-298,624	56,359	-48,965
8	1	29	-308,365	-126,015	-41,136
9	1	1	-62,715	-752,708	375,095
9	1	2	-32,231	222,121	92,224
9	1	3	-32,152	-786,138	176,056
9	1	4	-67,494	-261,999	313,183
9	1	5	-67,422	-1169,432	388,632
9	1	6	51,519	77,208	128,671
9	1	7	60,218	167,789	117,847
9	1	8	60,218	-226,983	150,663
9	1	9	68,917	-136,402	139,839
9	1	10	7,881	-392,421	345,986
9	1	11	15,71	-310,899	336,244
9	1	12	15,71	-666,193	365,778
9	1	13	23,539	-584,67	356,037
9	1	14	35,317	484,925	91,401
9	1	15	43,146	566,448	81,66
9	1	16	43,146	211,154	111,194
9	1	17	50,975	292,676	101,452
9	1	18	35,389	-422,508	166,85
9	1	19	43,217	-340,985	157,109
9	1	20	43,217	-696,279	186,643

Продовження Таблиці 2.1.7

Величини зусиль від комбінації завантажень					
Елемент	Переріз	Комбінація	Значення		
			N	M_y	Q_z
9	1	21	52,787	-622,686	176,901
9	1	22	-0,924	49,958	308,158
9	1	23	6,905	131,481	298,416
9	1	24	6,905	-223,814	327,95
9	1	25	14,733	-142,291	318,209
9	1	26	-0,853	-857,475	383,607
9	1	27	6,976	-775,952	373,865
9	1	28	6,976	-1131,247	403,399
9	1	29	14,805	-1049,724	393,658

2.1.5 Розрахунки ферми покриття

Кроквяна ферма проектується з паралельними поясами під плоску покрівлю.

Висота ферми: $h_0 = 3000$ мм, довжина ферми: $l = 24000$ мм.

Для розрахунку ферми необхідно визначити навантаження, що діють на її елементи. На ферму діють постійні навантаження від покриття та снігове навантаження.

Згідно з визначаємо зосереджене навантаження, що передається на вузли верхнього пояса ферми:

Перевіряємо жорсткість балки за формулою

$$f = \frac{5 * q_e * l^4}{384 * E * J_x} \quad (2.1.41)$$

$$f = \frac{5 * 0.1839 * 2400^4}{384 * 20600 * 674000} = 5.72 \text{ см}$$

де:

$$q_e = q_e + q_m^{CH} \quad (2.1.42)$$

$$q_e = 8.58 + 9.81 = 18.39 \frac{\text{кН}}{\text{м}} = 0.1839 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$f_{\text{буд}} = f + \frac{L}{200} \quad (2.1.43)$$

$$f_{\text{буд}} = f + \frac{L}{200} = 5.72 + \frac{2400}{200} = 17.72 \text{ см.}$$

де d - вантажна площа, що приймається рівною відстані між вузлами верхнього пояса геометричної схеми.

Підставляючи числові значення, отримуємо:

$$F = (q_m + q_{\text{сн},m}) \cdot d \quad (2.1.44)$$

$$F = (q_m + q_{\text{сн},m}) \cdot d = (11.16 + 20.02) \cdot 1,5 = 46,77 \text{ кН};$$

Для опорних вузлів значення навантаження приймається вдвічі меншим:

$$\frac{F}{2} = \frac{46,77}{2} = 23,385 \text{ кН.}$$

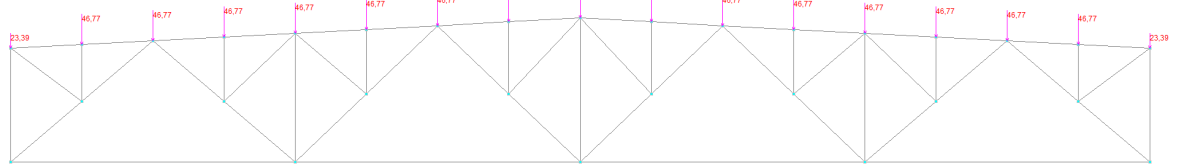


Рис. 2.1.22 - Геометрична схема кроквяної ферми з навантаженнями.

Таким чином, отримані зосереджені навантаження використовуються для подальшого розподілу по вузлах ферми при розрахунку її несучої здатності

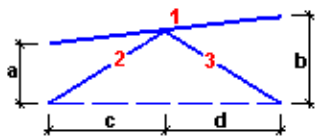
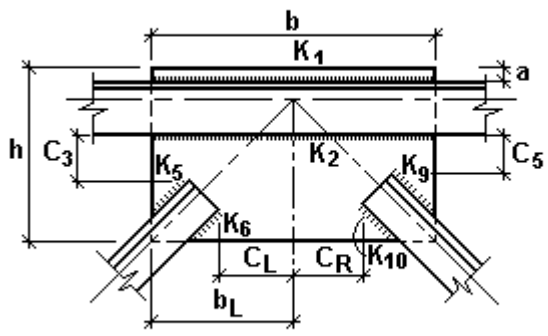
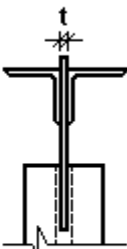
2.1.6 Розрахунки вузлів ферми

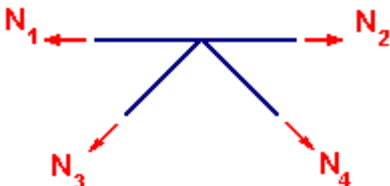
Всі подальші розрахунки вузлів проводились за допомогою програми SCAD Office 23.1.1.1 модуля “Комета” та їхні результати сформовані в таблицях 2.1.8, 2.1.9 та 2.1.10.

Рядовий вузол №2

Таблиця 2.1.8 Розрахунок та перевірка міцності рядового вузла №2

Властивості матеріалів зварювання	
Нормативний опір металу шва за часовим опором, R_{wun}	490000 кН/м ²
Розрахунковий опір кутових швів зрізу за металом шва, R_{wf}	215000 кН/м ²
Тип зварювання	Заводське зварювання
Вид зварювання	Півавтоматичне порошковим дротом

Властивості матеріалів зварювання						
Положення шва				Нижнє		
Елементи вузла						
				a = 2,325 м b = 2,62 м c = 3 м d = 3 м		
Елемен т	Тип переріз у	Профіль				
1		L160x10 (Кутик сталевий гарячекатаний рівнополічний за ДСТУ 2251:2018)				
2		L100x10 (Кутик сталевий гарячекатаний рівнополічний за ДСТУ 2251:2018)				
3		L75x6 (Кутик сталевий гарячекатаний рівнополічний за ДСТУ 2251:2018)				
Товщина фасонки t = 14 мм						
Конструкція						
				 b = 1500 мм b _L = 665 мм h = 440 мм a = 20 мм c ₃ = 70 мм c ₅ = 70 мм c _L = 170 мм c _R = 160 мм		
Зварні шви						
Шви (мм)	K ₁	K ₂	K ₅	K ₆	K ₉	K ₁₀
Катет	8	12	10	10	6	6

Властивості матеріалів зварювання						
Довжина	50	660	50	580	50	690
Знаки зусиль						
						
Результати розрахунку за комбінаціями завантажень						
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄		
	кН	кН	кН	кН		
1	-29,64	654,11	-469,42	346,02		
Перевірено за ДБН		Перевірка		Коефіцієнт використання		
п.1.12.1.16, (1.12.2)		Міцність за металом шва по перу кутика поясу		0,713		
п.1.12.1.16, (1.12.3)		Міцність за металом межі сплавлення по перу кутика поясу		0,627		
п.1.12.1.16, (1.12.2)		Міцність за металом шва по перу кутика лівого розкосу		0,976		
п.1.12.1.16, (1.12.3)		Міцність за металом межі сплавлення по перу кутика лівого розкосу		0,986		
п.1.12.1.16, (1.12.2)		Міцність за металом шва по перу кутика правого розкосу		0,891		
п.1.12.1.16, (1.12.3)		Міцність за металом межі сплавлення по перу кутика правого розкосу		0,883		
п. 10.1.1		Міцність елементу поясу ферми лівої панелі		0,019		
п. 10.1.1		Міцність елементу поясу ферми правої панелі		0,416		
п. 10.1.1		Міцність розкосу ферми лівої панелі		0,488		

Властивості матеріалів зварювання		
п. 10.1.1	Міцність розкосу ферми правої панелі	0,788
Коефіцієнт використання 0,986 – Міцність за металом шва по перу кутика правого розкосу		

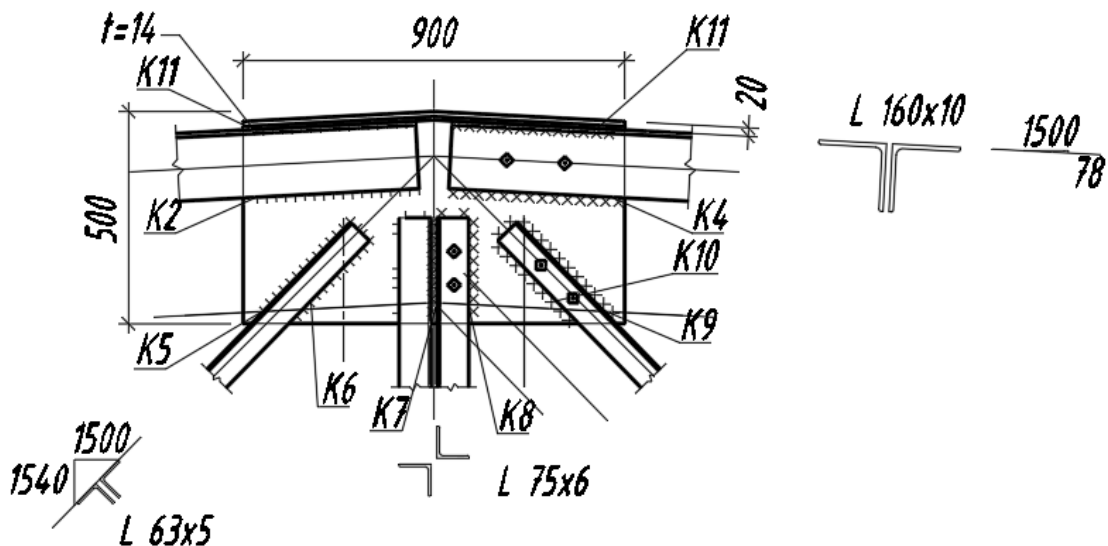


Рис. 2.1.23 – Креслення вузла №2.

Рядовий вузол №3

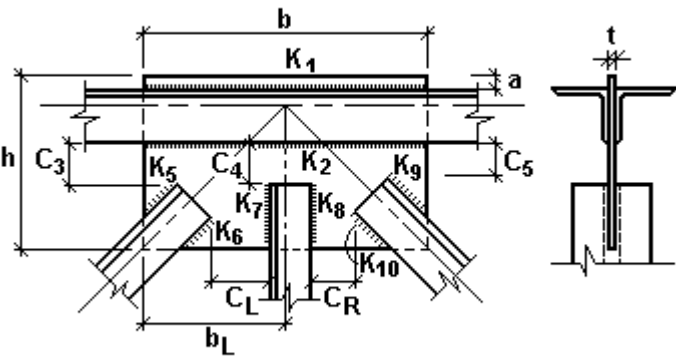
Таблиця 2.1.9 Розрахунок та перевірка міцності рядового вузла №3

Властивості матеріалів зварювання		
Нормативний опір металу шва за часовим опором, R_{wun}		Нормативний опір металу шва за часовим опором, R_{wun}
Розрахунковий опір кутових швів зрізу за металом шва, R_{wf}		Розрахунковий опір кутових швів зрізу за металом шва, R_{wf}
Тип зварювання		Тип зварювання
Вид зварювання		Півавтоматичне порошковим дротом
Положення шва		Нижнє
Елементи вузла		
		$a = 2,468 \text{ м}$ $b = 2,773 \text{ м}$ $c = 3 \text{ м}$ $d = 3 \text{ м}$
Елемен	Тип	Профіль

т	перерізу	
1		L160x10 (Кутик сталевий гарячекатаний рівнополічний за ДСТУ 2251:2018)
2		L63x5 (Кутик сталевий гарячекатаний рівнополічний за ДСТУ 2251:2018)
3		L63x5 (Кутик сталевий гарячекатаний рівнополічний за ДСТУ 2251:2018)
4		L63x5 (Кутик сталевий гарячекатаний рівнополічний за ДСТУ 2251:2018)

Товщина фасонки $t = 14$ мм

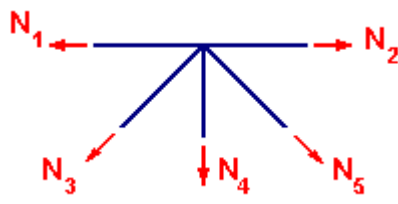
Конструкція

	$b = 700$ мм $b_L = 510$ мм $h = 430$ мм $a = 20$ мм $C_3 = 70$ мм $C_4 = 70$ мм $C_5 = 70$ мм $C_L = 110$ мм $C_R = 105$ мм
--	--

Зварні шви

Шви (мм)	K ₁	K ₂	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
Катет	8	8	5	5	5	6
Довжина	50	50	50	110	200	200

Знаки зусиль


--

Результати розрахунку за комбінаціями завантажень

	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄
	кН	кН	кН	кН
1	-29,64	654,11	-469,42	346,02

Перевірено за ДБН	Перевірка	Коефіцієнт використання
п.1.12.1.16, (1.12.2)	Міцність за металом шва	0,33

	по перу кутика лівого розкосу	
п.1.12.1.16, (1.12.3)	Міцність за металом межі сплавлення по перу кутика лівого розкосу	0,291
п.1.12.1.16, (1.12.2)	Міцність за металом шва по перу кутика стійки	0,954
п.1.12.1.16, (1.12.3)	Міцність за металом межі сплавлення по перу кутика стійки	0,839
п.1.12.1.16, (1.12.2)	Міцність за металом шва по перу кутика правого розкосу	0,348
п.1.12.1.16, (1.12.3)	Міцність за металом межі сплавлення по перу кутика правого розкосу	0,307
п. 10.1.1	Міцність елемента поясу ферми лівої панелі	0,416
п. 10.1.1	Міцність елемента поясу ферми правої панелі	0,416
п. 10.1.1	Міцність розкосу ферми лівої панелі	0,117
п. 10.1.1	Міцність стійки ферми	0,111
Коефіцієнт використання 0,954 – Міцність за металом шва по перу кутика стійки		

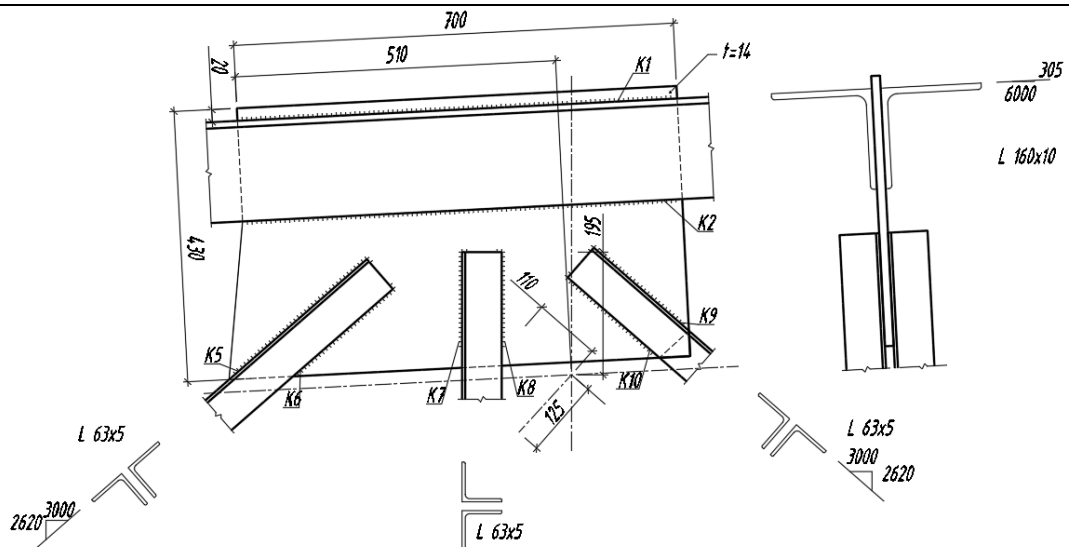
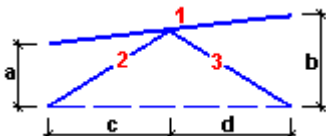
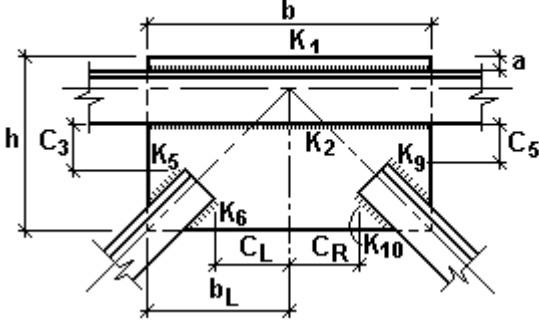
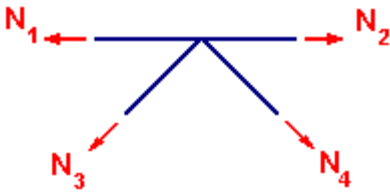


Рис. 2.1.24 – Креслення вузла №3.

Рядовий вузол №4

Таблиця 2.1.10 Розрахунок та перевірка міцності рядового вузла №4

Властивості матеріалів зварювання						
Нормативний опір металу шва за часовим опором, R_{wun}			Нормативний опір металу шва за часовим опором, R_{wun}			
Розрахунковий опір кутових швів зрізу за металом шва, R_{wf}			Розрахунковий опір кутових швів зрізу за металом шва, R_{wf}			
Тип зварювання			Тип зварювання			
Вид зварювання			Півавтоматичне порошковим дротом			
Положення шва			Нижнє			
Елементи вузла						
			$a = 2,62 \text{ м}$ $b = 2,925 \text{ м}$ $c = 3 \text{ м}$ $d = 3 \text{ м}$			
Елемент	Тип перерізу	Профіль				
1		L160x10 (Кутик сталевий гарячекатаний рівнополічний за ДСТУ 2251:2018)				
2		L75x6 (Кутик сталевий гарячекатаний рівнополічний за ДСТУ 2251:2018)				
3		L75x6 (Кутик сталевий гарячекатаний рівнополічний за ДСТУ 2251:2018)				
Товщина фасонки $t = 14 \text{ мм}$						
Конструкція						
			$b = 800 \text{ мм}$ $b_L = 450 \text{ мм}$ $h = 450 \text{ мм}$ $a = 20 \text{ мм}$ $c_3 = 70 \text{ мм}$ $c_5 = 70 \text{ мм}$ $c_L = 160 \text{ мм}$ $c_R = 140 \text{ мм}$			
Зварні шви						
Шви (мм)	K_1	K_2	K_5	K_6	K_9	K_{10}
Катет	8	8	5	6	5	5
Довжина	50	190	50	300	50	120

Знаки зусиль				
				
Результати розрахунку за комбінаціями завантажень				
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄
	кН	кН	кН	кН
1	-654,11	-772,77	-120,14	43,09
Перевірено за ДБН		Перевірка	Коефіцієнт використання	
п.1.12.1.16, (1.12.2)		Міцність за металом шва по перу кутика лівого розкосу	0,278	
п.1.12.1.16, (1.12.3)		Міцність за металом межі сплавлення по перу кутика лівого розкосу	0,245	
п.1.12.1.16, (1.12.2)		Міцність за металом шва по перу кутика стійки	0,87	
п.1.12.1.16, (1.12.3)		Міцність за металом межі сплавлення по перу кутика стійки	0,766	
п.1.12.1.16, (1.12.2)		Міцність за металом шва по перу кутика правого розкосу	0,414	
п.1.12.1.16, (1.12.3)		Міцність за металом межі сплавлення по перу кутика правого розкосу	0,364	
п. 10.1.1		Міцність елементу поясу ферми лівої панелі	0,416	
п. 10.1.1		Міцність елементу поясу ферми правої панелі	0,492	
п. 10.1.1		Міцність розкосу ферми лівої панелі	0,274	
п. 10.1.1		Міцність розкосу ферми правої панелі	0,098	
Коефіцієнт використання 0,954 - Міцність за металом шва по перу кутика стійки				

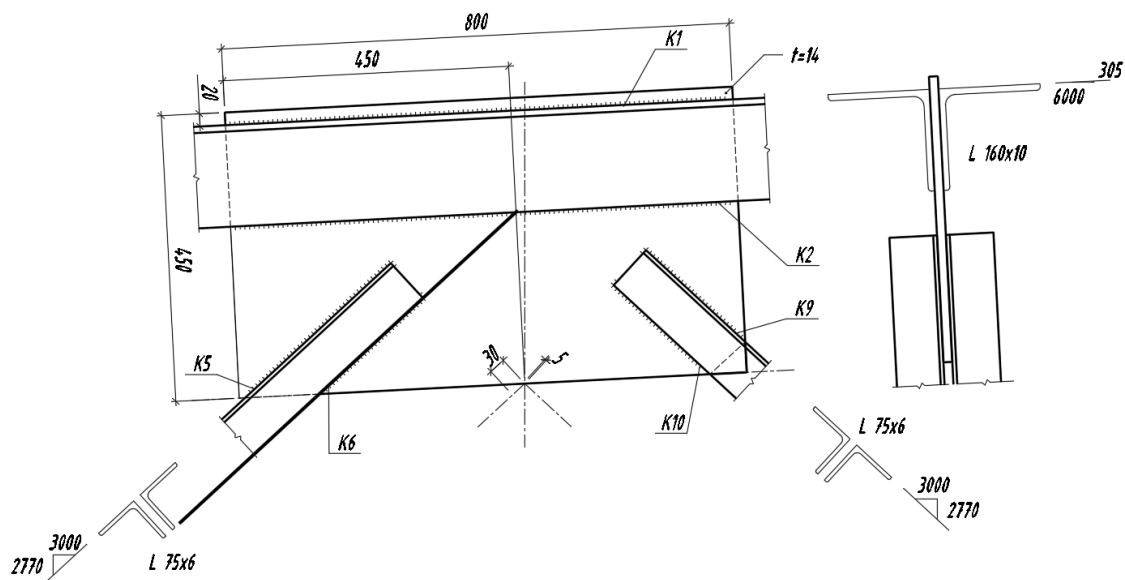


Рис. 2.1.24 - Креслення вузла №4.

2.2 Розрахунок підземної частини об'єкту

2.2.1 Аналіз інженерно-геологічних умов

Фундаменти проектується під колони крайнього ряду каркасу одноповерхової промислової будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК», м. Горішні Плавні, Полтавська область.

Нормативні навантаження на підшву колони (елемент №1, переріз 2, за результатами розрахунку рами у SCAD):

Сполучення 1: $N_{II} = 1322,3 \text{ кН}$, $M_{II} = 958,6 \text{ кН}\cdot\text{м}$

Сполучення 2: $N_{II} = 874,5 \text{ кН}$, $M_{II} = 1059,8 \text{ кН}\cdot\text{м}$

Переріз залізобетонної колони: $1090 \times 440 \text{ мм}$.

Навантаження на підлогу: $q = 20 \text{ кН/м}^2$.

Таблиця 2.2.1 Геологічна будова та гідрогеологічні умови будівельного майданчика

№ шару	Найменування ґрунтів	Номер свердловини і потужність шару, м			
		1	2	3	4
1	Пісок крупний	2,5	2,3	2,4	2,5
2	Супісок	3,1	3,2	3,2	3,3
3	Пісок середньої крупності	3,1	3,2	3,2	3,1
4	Супісок	3,4	3,5	3,6	3,6
5	Глина	8,7	8,9	8,8	8,7
	Глибина залягання підземної води	8,5	8,8	8,7	8,6
	Відмітка гирла свердловини, м	120	120,5	120	119,5

Таблиця 2.2.2 Характеристики властивостей ґрунтів

Найменування	Умов. позн.	Од. вимірювання	Номер шару				
			1	2	3	4	5
Щільність	ρ_p	т/м³	2,01	1,98	2,02	1,96	2,06
Щільність часток	ρ_s	т/м³	2,66	2,69	2,68	2,67	2,7
Природна вологість	W		0,23	0,26	0,24	0,25	0,22
Вологість на межі текучості	WL			0,28		0,26	0,4
Вологість на межі пластичності	WP			0,22		0,21	0,22
Кут внутрішнього тертя	ϕ_p	град	31	20	33	21	15
Питоме зчеплення	C _p	кПа	1	12	1	14	80
Модуль деформації	E	МПа	28	25	30	20	50

Висновок: як природна основа прийнято шар №1 - пісок крупний, середньої щільності ($\phi = 31^\circ$, $c = 1$ кПа, $E = 28$ МПа, $\rho = 2,01$ т/м³).

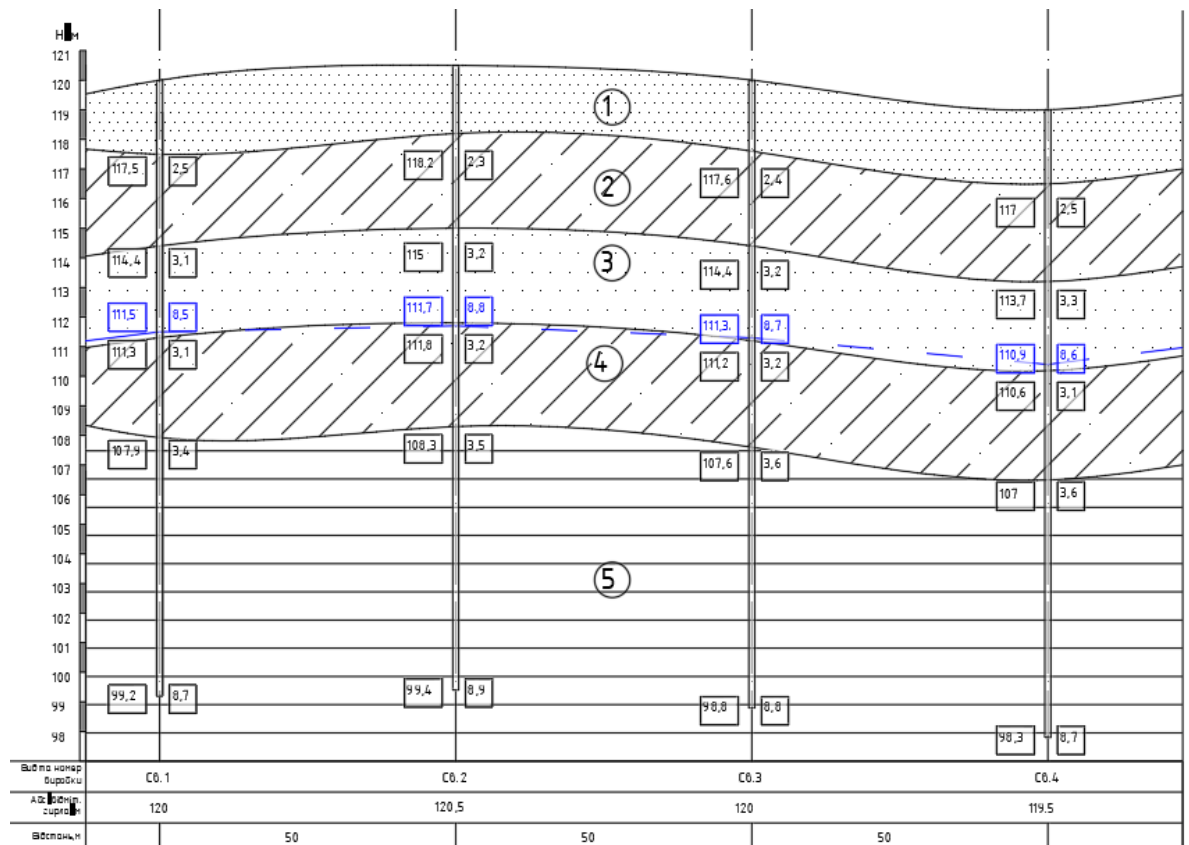


Рис. 2.2.1 Інженерно-геологічний розріз

2.2.2 Глибина закладення фундаменту

З інженерно-геологічних умов перший шар - пісок крупний - середньої щільності, середнього ступеня водонасичення можна використовувати як природну основу

З умови промерзання $d=1,2$ м

З конструктивних особливостей $d=1,8$ м

Оскільки основою фундаменту є напівтвердий високопористий суглинок, розрахунковий опір ґрунту приймемо $R_0=400$ кПа.

Фундамент - залізобетонний жорсткий ступінчастий. Приймаємо співвідношення сторін підшви $\eta = l/b = 1,4$.

Попереднє значення ширини підшви:

$$b = \sqrt{\frac{N \cdot 1000}{\eta \cdot (R - \gamma_{\text{mt}} \cdot d - q)}} \quad (2.2.1)$$

$$b_0 = \sqrt{\frac{1,322 \cdot 1000}{1,4(400 - 20 \cdot 1,8 - 20)}} = 1,66 \text{ (м)}$$

Далі визначаємо розрахунковий опір ґрунту R_1 за формулою (2.2.2).

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot (M_\gamma \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c) \quad (2.2.2)$$

де: $\gamma_{c2} = k = k_z = 1$, $d_b = 0$,

$$\gamma_{II} = \frac{20,1 \cdot 0,6}{0,6} = 20,1 \text{ (кН/м}^3\text{)}$$

$$\gamma'_{II} = \frac{20,1 \cdot 1,8}{1,8} = 20,1 \text{ (кН/м}^3\text{)}$$

Для кута внутрішнього тертя ґрунту $\varphi = 31^\circ$ за нормативними таблицями визначаємо такі значення коефіцієнтів:

$$M_\gamma = 1,24 \quad M_q = 5,95 \quad M_c = 8,24$$

Середню розрахункову питому вагу ґрунтів, розташованих нижче та вище підшви фундаменту, обчислюємо за формулою:

$$\gamma = \frac{\sum \gamma_i h_i}{\sum h_i}, \quad (2.2.3)$$

$$\gamma_{II} = \frac{20,1 \cdot 0,6}{0,6} = 20,1 \text{ (кН/м}^3\text{)}$$

$$\gamma_{II} = \frac{20.1 * 1.8}{1.8} = 20.1 \text{ (кН/м}^3\text{)}$$

Оскільки проєктом не передбачено влаштування підвалу, значення $d_b = 0$. У такому випадку величина $d_1 = d = 1.8 \text{ м}$ дорівнює глибині закладання фундаменту.

Значення коефіцієнтів $\gamma_{c2} = k = k_z = 1$ приймаємо рівними одиниці. Після визначення всіх необхідних параметрів підставляємо їх у формулу (2.2.2) та знаходимо розрахунковий опір ґрунту.

$$R_1 = \frac{1.3 * 1}{1} (1.24 * 1 * 1.66 * 20.1 + 5.95 * 1.8 * 20.1 + 8.24 * 1) = 344.35 \text{ (кН/м}^2\text{)}$$

Уточнимо значення ширини підшви за формулою 2.2.1:

$$b_1 = \sqrt{\frac{1.322 * 1000}{1.4(344.35 - 20 * 1.8 - 20)}} = 1.81 \text{ (м)}$$

$$R_2 = \frac{1.3 * 1}{1} (1.24 * 1 * 1.81 * 20.1 + 5.95 * 1.8 * 20.1 + 8.24 * 1) = 349.21 \text{ (кН/м}^2\text{)}$$

$$b_2 = \sqrt{\frac{1.322 * 1000}{1.4(349.21 - 20 * 1.8 - 20)}} = 1.79 \text{ м}$$

Розбіжність між ітераціями менше 10%, тоді приймаємо:

$$b = 1.9 \text{ м, } R = 349.21 \text{ кПа, } l = 1.4b = 1.4 * 1.9 = 2.7 \text{ м, } 1.2R = 419.05 \text{ кПа}$$

Перевірка крайових напруг, кПа:

$$P_{max} = \frac{N}{b * l} + \gamma_{mt} * d + q + \frac{M}{W} \leq 1.2R \quad (2.2.4)$$

$$P_{min} = \frac{N}{b * l} + \gamma_{mt} * d + q - \frac{M}{W} > 0 \quad (2.2.5)$$

$$P_{min} = \frac{N}{b * l} + \gamma_{mt} * d + q \leq R \quad (2.2.6)$$

де значення W визначається за формулою:

$$W = \frac{b * l^2}{6} \quad (2.2.7)$$

Виконуємо перевірки за двома сполученням навантажень

$$W = \frac{3.1 * 4.3^2}{6} = 9.55 \text{ м}^3$$

$$1. P_{\max} = \frac{1,322*1000}{3.1*4.3} + 20 * 1.8 + 20 + \frac{1.052*1000}{9.55} = 265.29 \text{ кПа} \leq 419.05 \text{ кПа}$$

$$P_{\min} = \frac{1,322*1000}{3.1*4.3} + 20 * 1.8 + 20 - \frac{1.052*1000}{9.55} = 45.05 \text{ кПа} > 0 \text{ кПа}$$

$$P_{\text{cp}} = \frac{1,322*1000}{3.1*4.3} + 20 * 1.8 + 20 = 155.17 \text{ кПа} \leq 349.21 \text{ кПа}$$

$$2. P_{\max} = \frac{0.874*1000}{3.1*4.3} + 20 * 1.8 + 20 + \frac{1.158*1000}{9.55} = 242.78 \text{ кПа} \leq 419.05 \text{ кПа}$$

$$P_{\min} = \frac{0.874*1000}{3.1*4.3} + 20 * 1.8 + 20 - \frac{1.158*1000}{9.55} = 0.35 > 0 \text{ кПа}$$

$$P_{\text{cp}} = \frac{0.874*1000}{3.1*4.3} + 20 * 1.8 + 20 = 121.57 \text{ кПа} \leq 349.21 \text{ кПа}$$

Умови дотримуються.

Приймаємо: $b = 3.1 \text{ м}$, $l = 4.3 \text{ м}$, $d = 1.8 \text{ м}$.

$P_{\min} = 45.05 \text{ кПа}$, $P_{\text{cp}} = 155.17 \text{ кПа}$, $P_{\max} = 265.29 \text{ кПа}$

$$W = \frac{b * l^2}{6} \quad (2.2.7)$$

2.2.3 Напруження від власної ваги ґрунту

Значення вертикальної напруги:

$$\sigma_{zg} = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \quad (2.2.8)$$

$$\gamma = \rho * 10 \text{ (кН/м}^2\text{)}$$

$$\sigma_{zg,1} = \gamma_1 h_1 = 2.01 * 10 * 2.4 = 48.24 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,2} = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 = 48.24 + 1.98 * 10 * 3.2 = 111,6 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,3} = \sigma_{zg,2} + \gamma_3 h_3 = 111.6 + 2.02 * 10 * 3.1 = 174,22 \text{ кН/м}^2$$

$$\gamma_{sb3} = \frac{26,8 - 10}{1 + 0,645} = 10.21 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,3'} = \sigma_{zg,3} + \gamma_{sb} h_3 = 174.22 + 10.21 * 0.1 = 175,24 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,4} = \sigma_{zg,3} + \gamma_4 h_4 = 175.24 + 1.96 * 10 * 3.6 = 245,8 \text{ кН/м}^2$$

$$\sigma_{zg,5} = \sigma_{zg,4} + \gamma_5 h_5 = 245.8 + 1.96 * 10 * 8.8 = 418,28 \text{ кН/м}^2$$

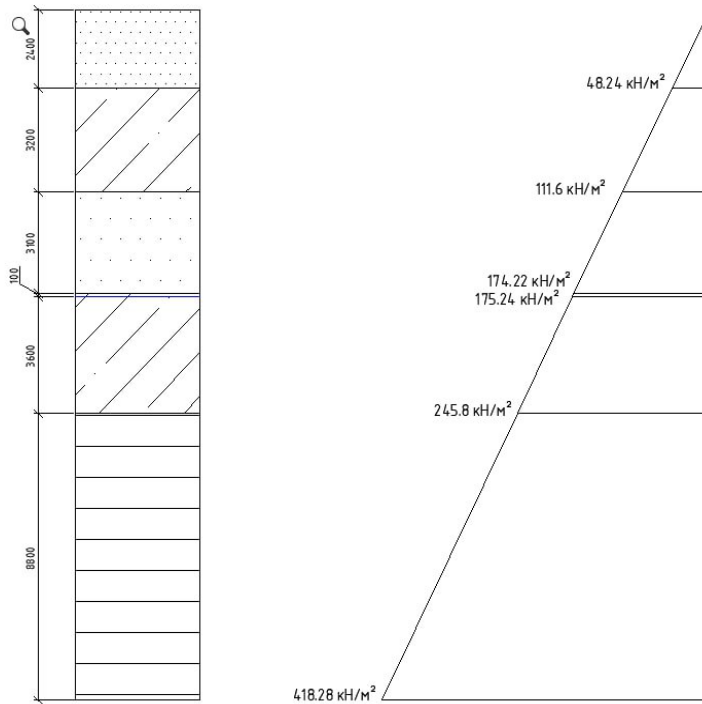


Рис. 2.2.2 напруження від власної ваги ґрунту

2.2.4 Визначення осідання фундаменту

Для розрахунку осадки нам знадобляться наступні данні:

Розміри плити: $b = 3.1$ м, $l = 4.3$ м

$$P_{cp} = \frac{1,322 \cdot 1000}{3.1 \cdot 4.3} + 20 \cdot 1.8 + 20 = 155.17 \text{ кПа} \leq 349.21 \text{ кПа}$$

$$\sigma_{zg,0} = \gamma_1 h_1 = 2.01 \cdot 10 \cdot 2.4 = 48,24 \text{ кН/м}^2$$

Результати розрахунку представлені в таблиці 2.2.3:

Таблиця 2.2.3 - Розрахунок осадки

№ точ ки	H,м	Z,м	$\zeta = \frac{2 \cdot z}{b}$	α	$\sigma_{zp} = \alpha \cdot p$ кПа	$\sigma_{zp,cp}$	$\zeta_k = \frac{2 \cdot z}{B_k}$	α_k	$\sigma_{zg} = \alpha_k \cdot \sigma'_{zg,0}$ кПа	$\sigma_{zg,cp}$	E _i , кПа	$0,8 \cdot \frac{(\sigma_{zp,i,cp} - \sigma_{zg,i,ср}) \cdot h_i}{E_i}$
Крані колони												
0	0	0	0	1	155,17		0	1	48,24		28000	
1	0,8	0,8	0,52	0,935	145,08	150,127	0,39	0,975	47,03	47,637	28000	0,002342628
2	0,8	1,6	1,03	0,753	116,84	130,963	0,78	0,854	41,20	44,115	28000	0,003970194
3	0,8	2,4	1,55	0,551	85,50	101,171	1,17	0,694	33,48	37,338	28000	0,004377125
4	0,8	3,2	2,06	0,401	62,22	73,861	1,56	0,547	26,39	29,933	25000	0,004498227
5	0,8	4	2,58	0,296	45,93	54,077	1,95	0,425	20,50	23,445	25000	0,003920909

$$\sum S = 0,019 \text{ м}$$

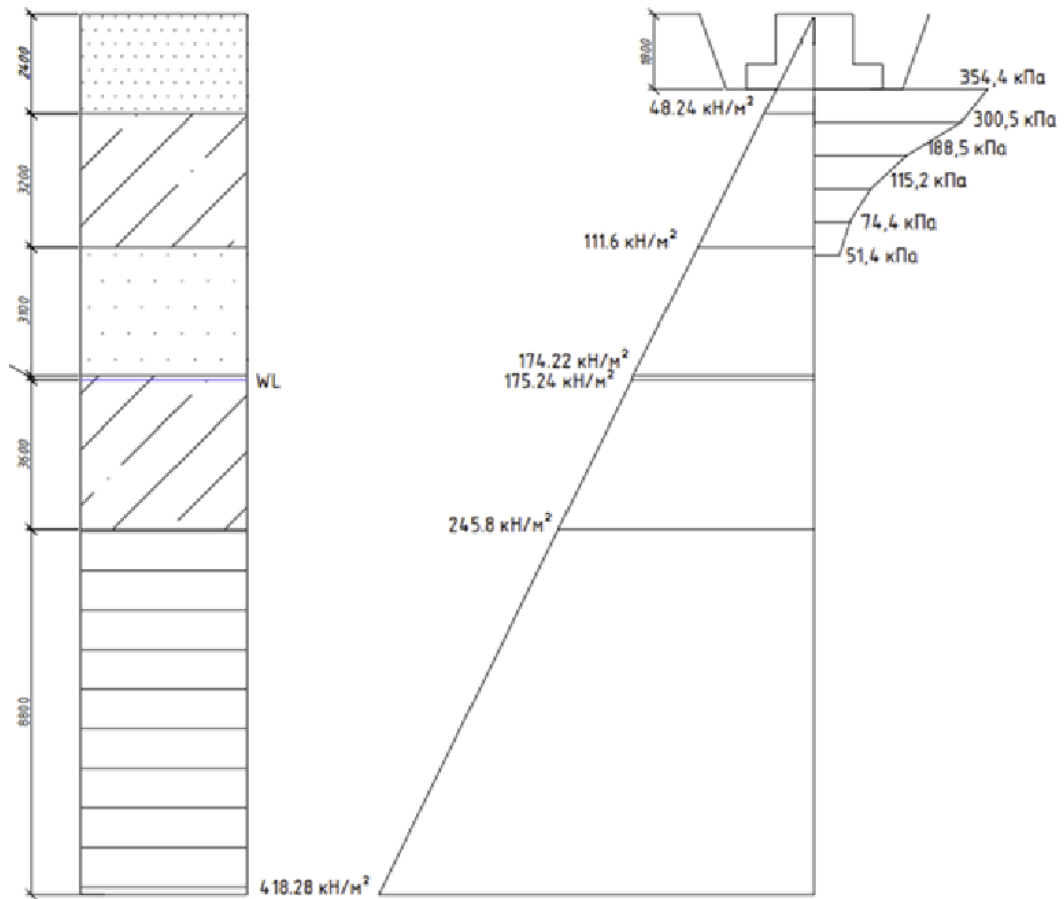


Рис. 2.2.3 Эпюра напружень додаткових напруг від зовнішнього навантаження

2.2.5 Перевірка підстиляючого шару ґрунту

Для цього знаходимо:

$$A_z = \frac{N + G_f}{\sigma_{zp}} \quad (2.2.9)$$

$$A_z = \frac{1322 + 746.48}{60.2} = 34.66 \text{ м}^2$$

$$G_f = b * l * (\gamma_{mf} * d + q) \quad (2.2.10)$$

$$G_f = 3.1 * 4.3 * (20 * 1.8 + 20) = 746.48 \text{ кН}$$

σ_{zp} - додаткову напругу на глибини від навантаження на фундамент.

$$\sigma_{zp} = a * P \quad (2.2.11)$$

$$p = \frac{N}{b * l} + \gamma_{fm} * d + q \quad (2.2.12)$$

$$p = \frac{155.17}{3.1 * 4.3} + 20 * 1.8 + 20 = 67.64$$

$$Z = 0,6 \text{ м} \quad \xi = \frac{2 * 0,6}{1,8} = 0,666 \quad a = 0,89$$

$$\sigma_{zp} = 0,89 * 67,64 = 60,2 \text{ кПа}$$

Далі знаходимо:

$$a = \frac{l - b}{2} = \frac{4,3 - 3,1}{2} = 0,6 \text{ м}$$

$$b_z = \sqrt{A_z + a^2} - a \quad (2.2.13)$$

$$b_z = \sqrt{34,66 + 0,6^2} - 0,6 = 5,32 \text{ м}$$

$$R_z = \frac{1,1 * 1}{1} (1,24 * 1 * 5,32 * 20,1 + 5,95 * (1,8 + 0,6) * 20,1 + 8,24 * 1) = 470,65$$

Перевіряємо умову:

$$\sigma_{zp} + \sigma_{zg} < R_z$$

σ_{zp} – напруга від власної ваги ґрунту на глибині z

$$\sigma_{zg,1} = \gamma_1 h_1 = 2,01 * 10 * 4,1 = 48,24 \text{ кН/м}^2$$

$$60,2 + 48,24 = 108,44 \text{ кН/м}^2 < 470,65 \text{ кН/м}^2$$

Остаточно приймаємо: $b = 3,1 \text{ м}$, $l = 4,3 \text{ м}$

2.2.6 Попереднє конструювання фундаменту

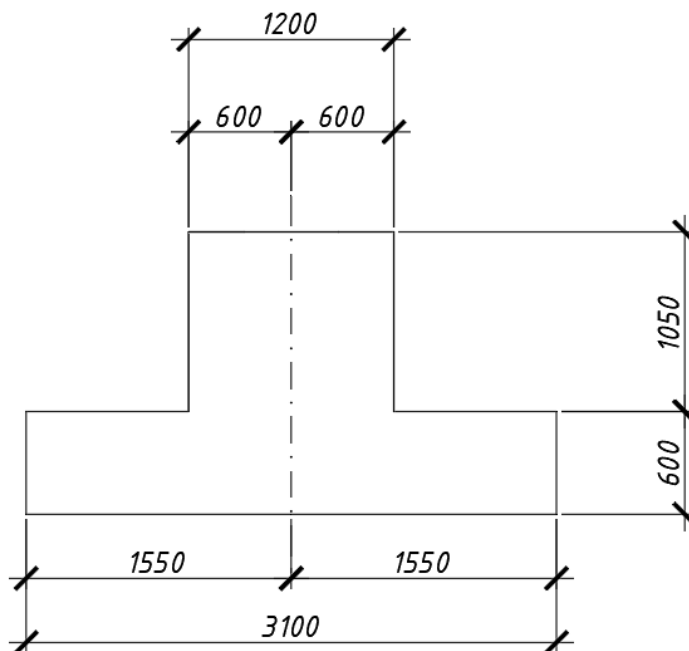


Рис. 2.2.4 Попереднє конструювання (Переріз)

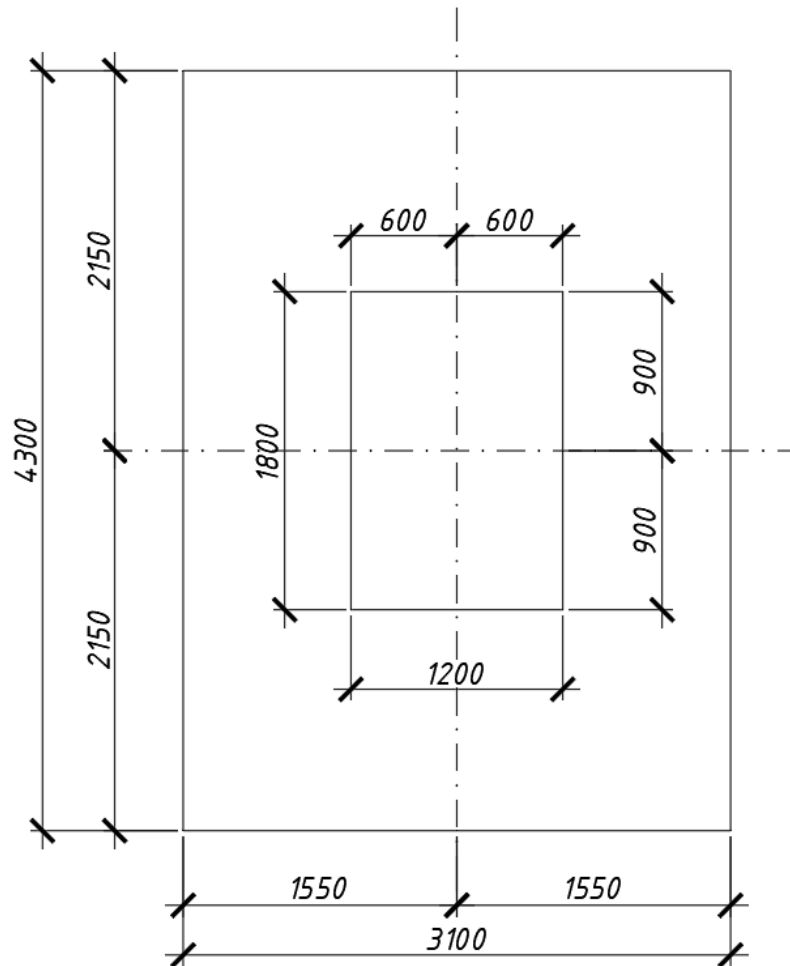


Рис. 2.2.5 Попереднє конструювання (План)

2.2.7 Розрахунок фундаменту на продавлювання

Продавлююча сила дорівнює:

$$F_{\text{пр}} = An \cdot p'_{\text{max}} \quad (2.2.14)$$

$$\text{при цьому } p'_{\text{max}} = \frac{N^p}{A} + \frac{M^p}{W} = \frac{1322 \cdot 1,2}{3,1 \cdot 4,3} + \frac{1052 \cdot 1,2}{9,55} = 251 \text{ кПа} < 419,05 \text{ кПа}$$

де N^p , M^p - розрахункові значення поздовжньої сили і моменту відповідно.

$$u_{m1} = \frac{b_1 + 2h_{01} + b_1}{2} = b_1 + h_{01} = 1200 + 415 = 1615$$

Площа, з якої збирається навантаження для визначення сили опору продавлювання (площа продавлювання), м^2 :

$$A_1 = b(c_1 - h_{01}) - \frac{(c_1 - h_{01})^2}{2} \quad (2.2.15)$$

$$A_1 = 2(0,9 - 0,6) - \frac{(0,9 - 0,6)^2}{2} \cdot 2 = 0,51 \text{ м}^2$$

Порівнюємо:

$$A_1 p'_{max} = 0.51 * 251 = 128.01 \text{ кН} \leq f_{ctd} b_{m1} h_{01} = 800 * 1.8 * 0.6 = 864 \text{ кН}$$

В даному випадку умови виконуються, але конструктивно приймаємо бетон С16/20.

2.2.8 Армування фундаменту

Армування здійснюється за результатами розрахунку нормальних перетинів на дію згинального моменту, у першому уступі наступним чином:

$$M_{I-I} = \frac{p_{c1} b \cdot c_1^2}{2} + \frac{(p'_{max} - p_{c1}) * c_1^2 b}{2} * \frac{2}{3} \quad (2.2.16)$$

Де розрахунковий тиск пі піжошвою фундаменту в перірізі I-I визначаємо за формулою

$$M_{I-I} = \frac{219.19 * 3.1 \cdot 0.9^2}{2} + \frac{(265.29 - 219.19) * 0.9^2 3.1}{2} * \frac{2}{3} = 313.78 \text{ кН/м}^2$$

$$p_{c1} = p_{cp} + \frac{p_{max} - p_c}{l/2} \left(\frac{l}{2} - c_1 \right) \quad (2.2.17)$$

$$p_{c1} = 155.17 + \frac{265.29 - 155.17}{4.3/2} \left(\frac{4.3}{2} - 0.9 \right) = 219.19 \text{ кН/м}^2$$

Перетин робочої арматури на всю ширину фундаменту обчислимо наступним чином:

$$A_{sI} = \frac{M_{I-I}}{0.9 h_{01} R_s} \quad (2.2.18)$$

$$A_{sI} = \frac{313.78}{0.9 * 0.4 * 365000} = 0.0024 \text{ м}^2$$

Приймаємо крок арматури S=200 мм

Приймаємо максимальну площу арматури. Прийнявши крок арматури можемо визначити необхідну кількість стержнів:

Необхідна кількість стрижнів:

$$n = \frac{b}{S} + 1 = \frac{3.1}{0.2} + 1 = 17 \text{ штук}$$

Площу одного стрижня приймаємо $A_{sI}=0,0024 \text{ м}^2$. Тепер враховуючи це значення, розрахуємо діаметр одного стрижня за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 * A_{1\text{ст}}}{\pi}} \quad (2.2.19)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,0024}{\pi}} = 0,055 \text{ м} = 55 \text{ мм}$$

Остаточно приймаємо 17Ø12A400

Армування також потрібно розраховувати і вздовж другого напрямку фундаменту:

$$M'_{II-II} = \frac{219.19 * 4.3 * 0,9^2}{2} = 381.72 \text{ кН * м}$$

Перетин робочої арматури на всю ширину фундаменту обчислюють так:

- для першого уступу (перетин I - I):

$$A_{sIII} = \frac{M'_{II-II}}{0,9h_{01}R_s} = \frac{381.72}{0,9 * 0,415 * 365000} = 0,0028$$

Приймаємо крок арматури S=200 мм

Приймаємо максимальну площу арматури.

Необхідна кількість стрижнів:

$$m = \frac{b}{S} + 1 = \frac{4.3}{0,2} + 1 = 23 \text{ штук}$$

$$\text{Площа одного стрижня } A_{1\text{ст}} = \frac{A_{sl}}{n} = \frac{0.0028}{23} = 0.00012 \text{ м}^2$$

де S - крок арматури.

$$\text{Діаметр стрижня } d = \sqrt{\frac{4 * A_{1\text{ст}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0.00012}{3,14}} = 0.012 \text{ м} = 12 \text{ мм}$$

Остаточно приймаємо 23Ø12A400

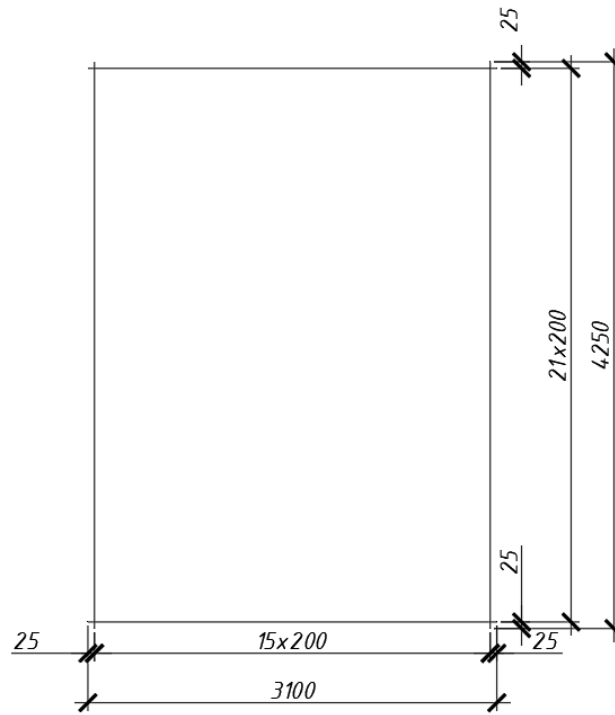


Рис. 2.2.6 Арматурний каркас С1

2.2.9 Армування підколонника

Армування підколонника приймаємо конструктивно, відповідно до малюнку

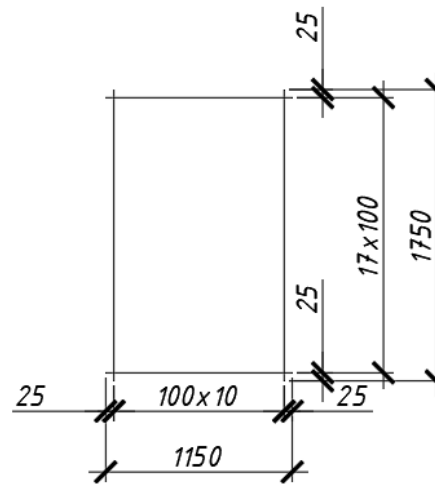


Рис. 2.2.7 Арматурний каркас С2

3 ТЕХНОЛОГІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

3.1 Монтажні характеристики елементів будівлі

Будівля шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК», що проєктується, є однопрольотною промисловою спорудою з металевим несучим каркасом. Прольот основного виробничого блоку становить 24,0 м. Крок колон по довжині будівлі - 7,0 м (крайні секції) та 5,0/13,0 м (середні секції відповідно до технологічних вимог розміщення монтажних постів). Відмітка верха колон у зоні підкранових балок становить +13,850 м, висота будівлі до верху покрівлі - +20,000 м.

У таблиці 3.1 наведено перелік основних елементів, що підлягають монтажу при зведенні будівлі. Для кожного елемента вказано найменування, кількість, масу та інші технічні характеристики, необхідні для визначення параметрів монтажних механізмів, організації постачання та контролю якості виконання монтажних робіт.

Таблиця 3.1 - Монтажні характеристики елементів будівлі

Поз.	Найменування конструкцій	Кіл-ть, шт.	Марка елемента	Одного елемента, т	Всього на будівлю, т
1	Кроковані ферми прольотом 24 м	11	КФ-1	2,6	28,6
2	Підкранові балки прольотом 7 м	4	ПБ-1	1,46	5,84
3	Підкранові балки прольотом 5 м	10	ПБ-2	1,05	10,5
4	Підкранові балки прольотом 13 м	6	ПБ-3	3	18
5	Прогони покриття	180	П-1	0,18	32,4
6	Сендвіч-панелі стінові Ruukki SP2D PIR $\delta=100$ мм	160	СП-1	0,49	78,4
7	Колони	39	К1	2,5	97,5
	Загалом				271,24

3.2 Вибір монтажного крана

Автомобільні крани широко застосовуються в промисловому будівництві завдяки мобільності, можливості швидкого переміщення між позиціями та роботи без спеціально підготовлених майданчиків. У кваліфікаційній роботі бакалавра прийнято комплексний метод монтажу - один кран використовується для підйому та встановлення всіх конструктивних елементів будівлі. Це спрощує організацію робіт і забезпечує ритмічність монтажного процесу.

Для правильного вибору монтажного крана необхідно визначити три основні монтажні параметри: монтажну масу елемента (Q_m), монтажну висоту підйому гака (H_m) та монтажний виліт стріли (L). Розрахунок виконується окремо для найбільш важких і найбільш висотних елементів - кроквяних ферм та сендвіч-панелей.

3.2.1 Монтаж колон

Монтажна висота підйому гака крана для колони визначається за формулою:

$$H_{кр}^{тр} = 0,5 + H_K^{кр} + h_{стр} \quad (3.1)$$

$$H_{кр}^{тр} = 0,5 + 18,570 + 2,1 = 20,67 \text{ м}$$

- потрібна висота підйому крюка, де:

$H_K^{кр}$ - висота колони крайнього ряду;

$h_{стр}$ - висота стропування;

0,5- монтажний зазор;

$$Q_{тр}^{кр} = Q_K + q \quad (3.2)$$

$$Q_{тр}^{кр} = 2,5 + 0,377 = 2,877 \text{ т} - \text{потібна вантажопідйомність}$$

$Q_{тр}^{кр}$ - вага колони;

q - маса захоплювача.

3.2.2 Монтаж підкранових балок

Визначимо монтажні параметри для найважчої підкранової балки прольотом 13 м:

$$H_{кр}^{тр} = H' + 0.5 + h_{пб} + h_{стр} \quad (3.3)$$

$$H_{кр}^{тр} = 12,430 + 0,5 + 1,4 + 5 = 19,33 \text{ м} \quad (3.4)$$

- потрібна висота підйому крюка.

де $h_{о'}$ - відмітка верха консолі колони;

0,5- монтажний зазор;

$h_{пб}$ - висота підкранової балки;

$h_{стр}$ - висота стропування.

$$Q_{тр}^{кр} = 3 + 0,511 = 3,511 \text{ т} - \text{потібна вантажопідйомність}$$

$Q_{тр}^{кр}$ - вага колони;

q - маса захоплювача.

3.2.3 Монтаж кроквяних ферм

Визначимо потрібну висоту підйому крюка.

$$H_{кр}^{тр} = H_{к}^{кр} + 0.5 + h_{ф} + h_{стр} \quad (3.4)$$

$$H_{кр}^{тр} = 16,2 + 0.5 + 3 + 3.905 = 23,605 \text{ м}$$

Потрібна вантажність:

$$Q_{кр}^{тр} = 2,6 + 0,1 = 2.7 \text{ т}$$

$Q_{ф}$ - вага кроквяної ферми;

q - маса захоплювача.

Для виконання монтажних робіт на об'єкті прийнято кран МКГ-25БР, технічні характеристики якого забезпечують необхідну вантажопідйомність, виліт стріли та висоту підйому вантажів відповідно до вимог технології монтажу конструкцій (таблиця 3.2).

Монтаж будівельних конструкцій здійснюється краном МКГ-25БР, обладнаним стрілою довжиною 23,5 м та гуськом завдовжки 5 м. Зазначена конфігурація дає можливість виконувати встановлення та переміщення великогабаритних елементів, зокрема колон, балок, ферм, панелей покриття, а також здійснювати допоміжні монтажні операції в межах робочої зони крана.

Кран МКГ-25БР відзначається надійністю, стійкістю та плавністю роботи, що забезпечує безпечне й ефективне виконання монтажних процесів у

різних виробничих умовах. Використання даного механізму дозволяє виконати повний комплекс монтажних робіт відповідно до технологічних вимог і встановлених термінів будівництва.

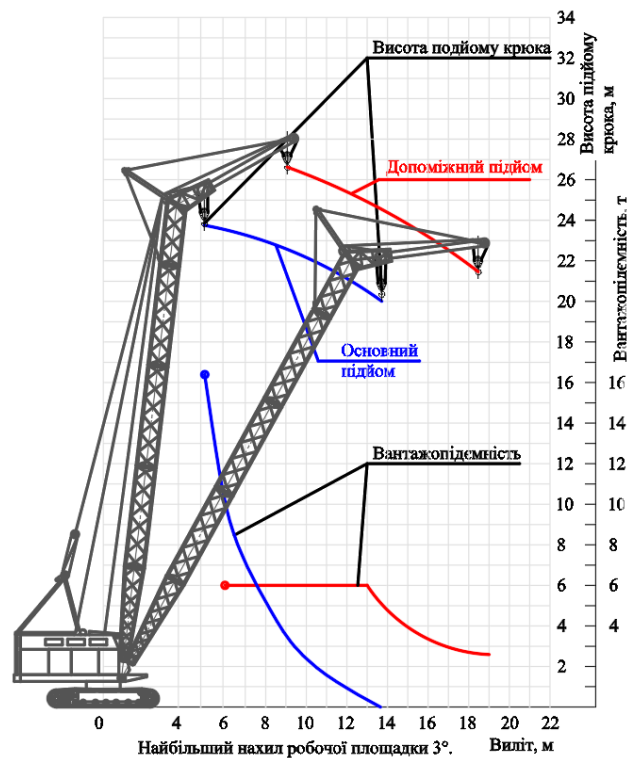


Рисунок 3.1 - Графік вантажності крана: МКГ-25БР зі стрілою 23,5м і гуськом 5м

Таблиця 3.2 - Параметри монтажних характеристик конструкцій

№ п/п	Назва елементу	Маса, т (конструкції)	Маса, т (строп. обладнання)	Маса, т (монтажна)	Монтажна висота, м	Виліт стріли, м	Марка крана
1	Колони	2,877	0.1	2,977	20,67	23,5	МКГ-25БР
2	Підкранові балки (найважча, ПБ-3)	3,511	0.1	3,611	19,33	23,5	МКГ-25БР
3	Кроквяні ферми	2,7	0.1	2,8	23,605	23,5	МКГ-25БР

* - виліт уточнюється за монтажною схемою залежно від позиції крана.

За результатами розрахунків монтажних параметрів (максимальна монтажна маса - 3,511 т, максимальна монтажна висота підйому гака - 23,605 м) для виконання монтажних робіт прийнято кран МКГ-25БР, обладнаний

стрілою довжиною 23,5 м та гуськом 5 м. Технічні характеристики крана забезпечують монтаж усіх конструктивних елементів будівлі відповідно до вимог технології виконання робіт.

Схема проходки кранів наведена на рисунку 3.2.

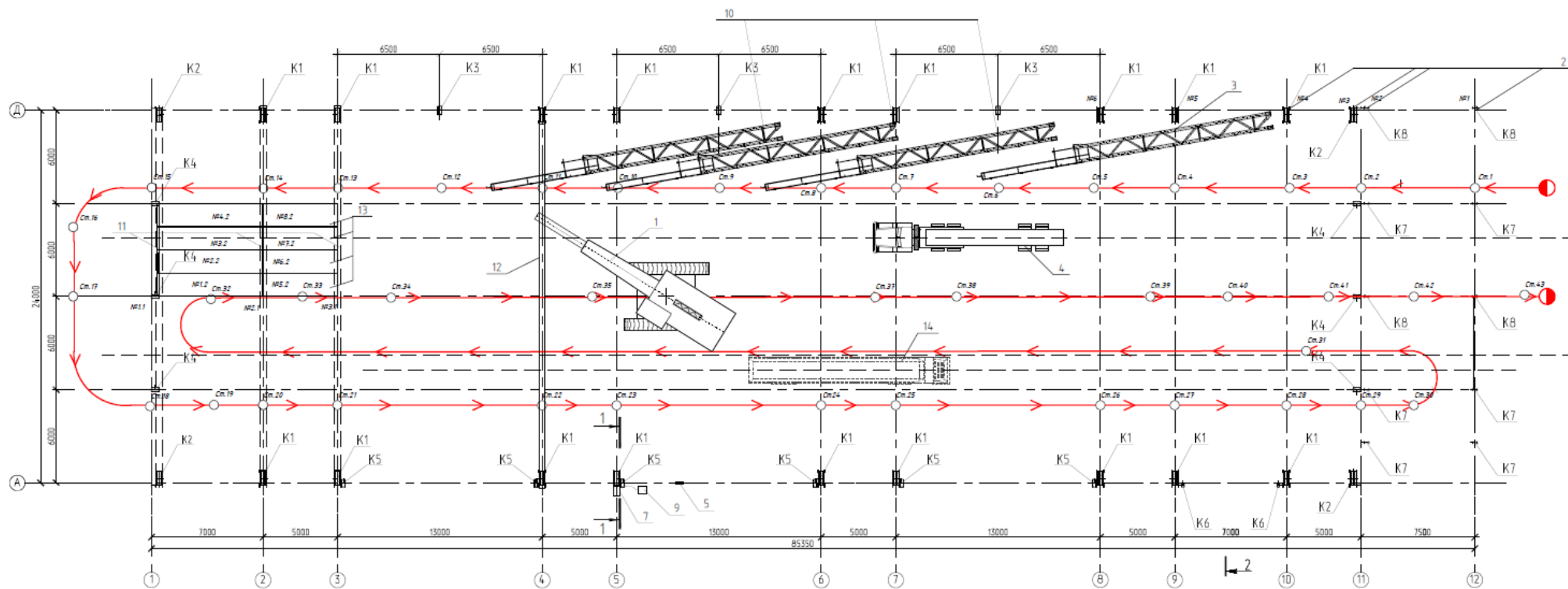


Рисунок 3.2 - Схема проходки кранів

3.3 Технологія виконання монтажних робіт

Базовий конструктив промислової будівлі на основі сталевого каркаса формують колони, підкранові балки, кроквяні ферми, прогони, система зв'язків, а також захисні огорожувальні елементи (сендвіч-панелі). Будівельний процес реалізується за чітким технологічним алгоритмом - у напрямку знизу вгору. При цьому обов'язковою умовою є досягнення просторової жорсткості та стійкості кожного окремого сегмента перед переходом до наступного кроку.

3.3.1 Монтаж колон

Металеві колони встановлюються на залізобетонні фундаменти стаканного типу. До початку підйому на конструкції наносять орієнтовні осьові риски, узгоджені з рівнем опорної плити та верхньою межею фундаменту. Фіксація стропів на колоні виконується виключно у точках, визначених Проектом виконання робіт (ППР).

Після підйому та позиціонування в проєктній точці, колони провизорно фіксують анкерними болтами, а також розчалками у площині з найменшими показниками жорсткості.

Важливо: Геометричний контроль та вивірку колон здійснюють за двома координатними осями за допомогою теодоліта. Гранично допустиме відхилення від проєктних відміток становить ± 5 мм. Прибирати тимчасові розчалки дозволяється лише тоді, коли колона буде остаточно інтегрована в каркас і зафіксована постійними конструктивними елементами - зв'язками та підкрановими балками.

3.3.2 Монтаж підкранових балок

Встановлення підкранових балок виконується паралельно із монтажем колон, а саме - безпосередньо після позиціонування кожної колони. До безпосереднього влаштування балок переходять одразу після того, як завершено встановлення, геодезичну вивірку та остаточно фіксацію колон у межах поточної монтажної захватки. Перед початком підйому підкранові балки попередньо розкладають у прольотах між колонами, використовуючи дерев'яні підкладки.

Підйом конструкцій здійснюється автомобільним краном МКГ-25БР із застосуванням відповідних стропів. Одразу після встановлення балки між колонами на висоті 1,6 м від її верхнього пояса натягують страхувальний трос, і лише після цього дозволяється виконувати розстропування. Сталеві підкранові балки з'єднують із колонами болтами через отвори нижнього пояса, а верхній пояс приварюють до колони через монтажну планку. Фінішну вивірку та остаточне зварювання проводять після комплексної перевірки геометрії всіх балок у межах прольоту.

3.3.3 Монтаж кроквяних ферм

Кроквяні ферми прольотом 24 м спочатку укрупнюють на майданчику безпосередньо біля споруди. Ще до підйому на конструкції закріплюють приставні сходи, тимчасові розчалки та захисний страхувальний трос вздовж нижнього пояса.

Для стропування використовують двогілковий строп, фіксуючи його за вказані в ППР вузли верхнього пояса, а ферму подають одразу в повній комплектації. На опорних вузлах її закріплюють мінімум половиною проєктних болтів і негайно розчалюють до готових елементів під кутом від 45° за допомогою гвинтових стяжок. Зв'язки між першими фермами монтують краном після натягування розчалок. Розстропування дозволяється виключно після фіксації розчалювальних систем та перевірки проєктного положення.

3.3.4 Монтаж сендвіч-панелей

Монтаж сендвіч-панелей Ruukki SP2D PIR товщиною 100 мм розпочинають лише після повної вивірки та фіксації елементів тримального каркаса. До початку робіт обов'язково контролюють геометричні параметри та рівність цокольної поверхні, а самі панелі ретельно очищають від вологи, пилу та бруду.

Розвантажують пакети з панелями за допомогою монтажного крана. Для захисту конструкцій від деформації вантажними стропами, у верхній частині пачки встановлюють дерев'яні розпівки завдовжки 1,2 м. Підйом забезпечується

чотиригілковим стропом із текстильними стрічками; фіксувати вантажні ремені безпосередньо за пінополістирольні підкладки суворо заборонено.

До сталевих каркасів панелі кріплять саморізами із загартованої вуглецевої сталі, укомплектованими ущільнювальними шайбами. Метизи вкручують виключно перпендикулярно до площини панелі. Демонтаж страхувальних ременів дозволяється виконувати лише після точного позиціонування елемента та його надійної фіксації механічними захватами.

3.4 Складання калькуляції трудових витрат

Обов'язковою складовою будь-якої технологічної карти є виробнича калькуляція трудових витрат. Цей документ забезпечує впорядкований облік витрат праці на реалізацію як окремих, так і комплексних робочих процесів, що розбиваються за чіткою технологічною послідовністю етапів. Усі обчислення виконуються на основі чинних Галузевих норм (ГН) і збірників ЄНіР із залученням нормативів «Довідника кваліфікаційних характеристик професій працівників».

Ця технологічна карта регламентує потоковий монтаж сталевих колон та елементів покриття за окремими захватками. Роботи виконуються поелементним методом із попереднім частковим укрупненням конструкцій на землі та їх подальшим підйомом.

Для встановлення металоконструкцій застосовується гусеничний кран МКГ-25БР із довжиною стріли 23,5 м та 5-метровим гуськом, який забезпечує монтаж усіх елементів каркаса й покрівлі.

Процес розпочинається з підготовки елементів, нанесення осевих ризиків і тимчасового підсилення вузлів. Потім колони виставляють у проєктне положення, фіксують анкерами й розчалками та геометрично вивіряють.

Для жорсткості каркаса спочатку монтують підкранові балки й вертикальні зв'язки, після чого встановлюють кроквяні ферми, прогони та профільований настил. Етап завершується зварюванням, затягуванням болтів і фінальним геодезичним контролем.

Охороні праці приділено особливу увагу: персонал проходить інструктаж, а на висоті обов'язково використовує запобіжні пояси. Монтаж заборонено за вітру понад 10 м/с, а небезпечні зони роботи крана чітко огорожуються.

Контроль якості забезпечує точність геометрії колон, ферм та їхніх стиків. До зварювання допускаються лише перевірені конструкції, а результатом робіт є оформлення виконавчої документації та фактичних схем розташування.

Розроблений документ гарантує раціональну, послідовну та безпечну організацію будівництва відповідно до нормативів, забезпечуючи ефективне планування й оцінку якості монтажного процесу.

3.5 Техніка безпеки і охорона праці

При виконанні монтажних робіт необхідно суворо дотримуватися вимог ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці та промислова безпека в будівництві». Відповідальність за дотримання правил охорони праці, санітарних норм, пожежної та екологічної безпеки покладається на керівників робіт, призначених відповідним наказом підприємства.

Охорона праці забезпечується шляхом надання засобів індивідуального захисту (спецодяг, каски, рукавиці, запобіжні пояси), а також заходів колективного захисту: встановлення огорожень, освітлення, вентиляції. Монтажні роботи виконуються лише за наявності затвердженого ППР та технологічної карти. Перед початком роботи машиніст крана зобов'язаний перевірити технічний стан механізмів, гальмівної системи, стану стріли та канатів.

Під час виконання монтажних робіт краном забороняється:

- перебувати особам у межах небезпечної зони підйому;
- виконувати монтаж при швидкості вітру понад 10 м/с, ожеледиці або грозі;
- наносити удари по стропах і гаку крана в процесі підйому;
- стояти або проходити під піднятим вантажем;
- опускати вантаж одночасно з поворотом стріли;

- підвішувати ремені безпосередньо до пінополістирольних підкладок панелей.

Бригадир зобов'язаний щозмінно перевіряти стан охорони праці на всіх робочих місцях. За наявності небезпеки, яку неможливо усунути силами бригади, роботи припиняються до повного усунення загрози. Усі монтажники перед початком робіт проходять інструктаж з підписом у журналі реєстрації. Постійний контроль якості та безпеки монтажних робіт здійснює відповідальний виконавець - майстер або виконроб об'єкта.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Забезпечення охорони праці на законодавчому рівні

Об'єктом проектування є будівля шиномонтажного відділення Приватного акціонерного товариства «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат» (ПрАТ «ПолтавГЗК»), розташована у м. Горішні Плавні Полтавської області. Будівля є одноповерховим промисловим об'єктом рамно-в'язевої конструктивної схеми з металевим несучим каркасом, загальними габаритними розмірами 85,5×24 м та висотою до відмітки +20,000 м. У будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» розміщено три монтажних пости для обслуговування великогабаритної кар'єрної техніки (шиномонтаж, вулканізація, ремонт коліс кар'єрних самоскидів Caterpillar 785), компресорна, теплогенераторна, електрощитова та двоповерховий адміністративно-побутовий корпус. Технологічний процес передбачає постійну роботу двох мостових кранів вантажопідйомністю $Q = 30/5$ т (підкранова відмітка +13,850 м), пневматичного монтажного та електрозварювального обладнання.

Зважаючи на специфіку виробничої діяльності будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК», питання охорони праці набувають першочергового значення. Виконання шиномонтажних і ремонтних робіт із великогабаритними колесами масою понад 4 т, застосування вантажопідіймального обладнання, зварювання, компресорних установок створює широкий спектр небезпечних та шкідливих виробничих факторів (НШВФ). Вирішення питань охорони праці є важливим як з позиції соціального захисту персоналу підприємства, так і з економічного погляду: виробничий травматизм призводить до зупинки виробничого процесу, матеріальних збитків та відповідальності роботодавця.

Правову основу охорони праці на будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» становлять такі нормативно-правові акти:

- Конституція України, ст. 43 - гарантує право кожного на належні, безпечні й здорові умови праці;

- Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (зі змінами) [13] - основний спеціальний закон у сфері охорони праці; визначає права та обов'язки роботодавця і працівника, порядок організації служби охорони праці;
- ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення» [14] - встановлює вимоги безпеки та охорони праці на будівельних об'єктах;
- ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [15] - нормує мінімальні рівні освітленості виробничих приміщень;
- ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [16] - регламентує допустимі параметри мікроклімату на робочих місцях.
- НПАОП 0.00-1.80-18 «Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання» [17] - є основним нормативним документом для безпечної експлуатації мостових кранів будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК»;

Конкретними цілями у сфері охорони праці для будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» є: забезпечення безпечної експлуатації мостових кранів відповідно до НПАОП 0.00-1.80-18 [17]; унеможливлення ураження електричним струмом у мережах 380/220 В; нормалізація акустичного режиму у виробничому залі; підтримання нормативних параметрів мікроклімату; забезпечення нормативної освітленості робочих зон; захист персоналу від хімічних шкідливих виділень при вулканізації та зварюванні; забезпечення пожежної безпеки; захист працівників в умовах воєнного часу.

4.2 Аналіз умов праці та виявлення потенційних небезпек на об'єкті проектування

Аналіз умов праці у будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» проводиться відповідно до класифікації НШВФ, де всі чинники поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

4.2.1 Фізичні небезпечні та шкідливі виробничі фактори

До фізичних НШВФ будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» належать: рухомі частини мостових кранів $Q = 30/5$ т та кар'єрних самоскидів Caterpillar 785 (ризик травмування персоналу в підкрановій зоні та при маневруванні техніки); підвищений рівень шуму від компресорної установки (85-95 дБА) та пневматичного монтажного інструменту (до 100 дБА) при нормі 80 дБА; локальна та загальна вібрація від пневматичного інструменту і компресорних агрегатів; небезпечна напруга в електричних мережах 380/220 В (тролейні лінії кранів, розподільні щити, зварювальне обладнання) в умовах приміщення з підвищеною безпекою; недостатня освітленість монтажних постів у нічну зміну при нормі 300 лк за ДБН В.2.5-28:2018 [15]; різкі перепади температури повітря у виробничому залі при відкриванні великогабаритних воріт ОК-3 в холодний період; небезпека падіння персоналу при обслуговуванні кранових конструкцій (відм. +13,850 м) та покрівлі (відм. +16,0-+20,0 м).

4.2.2 Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори

На ділянці вулканізації будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» при термічній обробці гумових виробів виділяються токсичні та канцерогенні продукти деструкції гуми (вуглеводні, сажа, оксид вуглецю), шлях проникнення - органи дихання. Зварювальні роботи супроводжуються виділенням зварювального аерозолю (оксиди заліза, марганцю) та газів (озон, оксиди азоту). При обслуговуванні гідравлічного обладнання монтажних стендів персонал контактує з мастильними матеріалами, що чинять подразнювальну дію на шкіру.

4.2.3 Біологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Виробничий процес будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» пов'язаний виключно з механічними та термічними операціями обробки шин і металоконструкцій. Безпосередній контакт персоналу основних робочих місць з патогенними мікроорганізмами або макроорганізмами не передбачається, тому біологічні НШВФ для будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» відсутні.

4.2.4 Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Праця персоналу будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» пов'язана зі значними фізичними навантаженнями при переміщенні шин і монтажного інструменту, а також із психоемоційною напругою кранівника та стропальника при підйомі вантажів масою понад 4 т. Монотонне виконання однотипних операцій сприяє зниженню уваги і підвищенню ймовірності травматизму.

Таким чином, у будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» виявлено комплекс НШВФ переважно фізичної та хімічної природи. Біологічні фактори для виробничих робочих місць є відсутніми. Заходи щодо зниження впливу виявлених НШВФ наведено в підрозділі 4.4.

4.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті проектування

Оцінювання ризиків виконано матричним методом відповідно до методичних вказівок кафедри «Охорона праці та безпека життєдіяльності» ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. Метод передбачає класифікацію кожної небезпеки за категорією серйозності наслідків (I-IV) та рівнем ймовірності реалізації (A-E); за матрицею визначається індекс ризику та ступінь його припустимості.

Для оцінювання обрано робоче місце кранівника мостового крана $Q = 30/5$ т будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК». Ця професія обрана як така, що поєднує в собі найбільшу кількість виявлених у підрозділі 4.2 небезпечних та шкідливих факторів: механічна небезпека від рухомих частин крана та підвішеного вантажу, електрична небезпека від тролейних ліній 380 В, постійний вплив підвищеного рівня шуму, а також психоемоційна напруга, пов'язана з відповідальністю за управління кранами при підйомі масивних колісних вузлів масою понад 4 т.

Результати оцінювання ризиків на робочому місці кранівника будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Оцінювання ризиків на робочому місці кранівника будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК»

Небезпека / шкідливий фактор	Категорія серйозності	Опис наслідків	Рівень ймовірності	Опис ймовірності	Індекс ризику / Класифікація
Падіння вантажу або кранової балки при обриві стропа чи несправності гальм	I - Катастрофічна	Смерть або руйнування системи	C - Випадкова	Іноді може відбутися за виробничий цикл	1C - Неприпустимий (надмірний)
Ураження електричним струмом при контакті з обірваними або незахищеними проводами живлення крана (380 В)	II - Критична	Серйозна травма, стійке захворювання	D - Віддалена	Малоймовірна, але можлива подія	2D - Небажаний (гранично допустимий)
Підвищений рівень шуму в кабіні кранівника від роботи механізмів крана та компресорного обладнання	III - Гранична	Незначна травма, проф. захворювання органів слуху	A - Часта	Постійно протягом робочої зміни	3A - Неприпустимий (надмірний)
Зіткнення крана з людьми або технікою в підкрановій зоні через відсутність	II - Критична	Серйозна травма, суттєве пошкодження	C - Випадкова	Іноді може відбутися	2C - Небажаний (гранично допустимий)

Небезпека / шкідливий фактор	Категорія серйозності	Опис наслідків	Рівень ймовірності	Опис ймовірності	Індекс ризику / Класифікація
огороження або незадовільну сигналізацію					
Зниження уваги кранівника через монотонність праці та тривалі статичні навантаження	III - Гранична	Незначна травма, пошкодження обладнання	B - Можлива	Може трапитися кілька разів за виробничий цикл	3B - Небажаний (гранично допустимий)

Аналіз результатів, наведених у таблиці 4.1, свідчить про таке. Два фактори отримали класифікацію «неприпустимий (надмірний) ризик»: падіння вантажу (індекс 1C) та підвищений рівень шуму (індекс 3A). Це вимагає негайного впровадження конкретних технічних заходів захисту. Небезпека зіткнення крана з персоналом (2C), ризик ураження електрострумом (2D) та зниження уваги через монотонність праці (3B) класифіковано як «небажаний (гранично допустимий)» рівень, що також потребує відповідних організаційно-технічних заходів.

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

4.4.1 Заходи щодо безпечної експлуатації кранового обладнання

З огляду на надмірний ризик падіння вантажу (індекс 1C), для кранового обладнання будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» відповідно до НПАОП 0.00-1.80-18 [17] реалізуються такі заходи:

- технічні заходи: технічне обслуговування мостових кранів $Q = 30/5$ т відповідно до заводських регламентів та НПАОП 0.00-1.80-18 [18]; налаштування та регулярна перевірка кінцевих вимикачів переміщення

крана і підйомного механізму; встановлення двосторонньої гучномовної сигналізації у виробничому залі будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» для звукового попередження персоналу; огороження підкранової зони колоноподібними знаками безпеки; щорічне технічне освідчення кранів;

- організаційні заходи: допуск до роботи кранівника виключно за наявності посвідчення встановленого зразка та медичного висновку; оформлення наряду-допуску при суміщенні кранових та наземних робіт; призначення відповідального за безпечну експлуатацію кранового обладнання будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК»; обов'язкові щорічні інструктажі з охорони праці для кранівників і стропальників відповідно до Закону України «Про охорону праці» [13].

4.4.2 Заходи щодо електробезпеки

Для забезпечення електробезпеки у виробничому приміщенні будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» з підвищеною небезпекою реалізуються такі заходи:

- захисне заземлення всіх металевих конструктивних елементів будівлі (колони, кранові рейки, підкранові балки), корпусів електрообладнання, кабельних лотків (опір заземлення $R_z \leq 4 \text{ Ом}$);
- захисне занулення обладнання у мережах 380/220 В із глухозаземленою нейтраллю (система TN-C-S);
- встановлення пристроїв захисного відключення (ПЗВ) з диференційним струмом спрацювання $\leq 30 \text{ мА}$ на лініях живлення переносного електроінструменту;
- механічне та електричне блокування розподільних щитів, що унеможливорює їх відкриття під напругою;
- укладання діелектричних гумових килимків перед розподільними щитами та біля монтажних постів будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК»;

- щорічний плановий огляд і вимірювання параметрів електроустановок (опір ізоляції, опір заземлення, перевірка ПЗВ);
- допуск до самостійної роботи з електроустановками напругою до 1000 В лише осіб з групою електробезпеки не нижче III.

4.4.3 Нормалізація шумового режиму

З огляду на надмірний рівень ризику (індекс 3А) для будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» впроваджуються такі заходи:

- розміщення компресорної установки в окремому приміщенні (компресорній) з огорожувальними конструкціями, що забезпечують звукоізоляцію не менше 40 дБА; двері компресорної виконуються з ущільнювачами по периметру;
- встановлення вібродемпфуючих підкладок із технічної гуми або пружинних амортизаторів під компресорні агрегати;
- прокладання пневматичних трубопроводів у межах виробничого залу будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» у гнучких звукопоглинальних кожухах;
- кабіна кранівника виконується з підвищеною звукоізоляцією (не менше 25 дБ) для захисту від виробничого шуму;
- обов'язкове застосування засобів індивідуального захисту органів слуху: навушники або беруші з послабленням рівня шуму не менше 25 дБА відповідно до вимог щодо підбору ЗІЗ при перевищенні ГДР шуму;
- щорічний медичний огляд персоналу з проведенням аудіограми для виявлення початкових ознак погіршення слуху.

4.4.4 Забезпечення нормативної освітленості робочих місць

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [15] для будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» нормована мінімальна горизонтальна освітленість для монтажних постів (розряд зорової роботи IV «б») становить 300 лк, для зони пересування техніки - 75 лк, для приміщень АБК - 300 лк. Передбачаються такі технічні заходи:

- у виробничому залі будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» встановлюються промислові LED-світильники зі ступенем захисту IP65, закріплені на нижніх поясах кроквяних ферм на відмітці +16,0 м; розрахунковий коефіцієнт запасу $K_z = 1,6$ для приміщень із середнім забрудненням відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [16];
- для монтажних постів №1-3 передбачено додаткове місцеве освітлення переносними або стаціонарними світильниками напругою 24 В, що забезпечує освітленість у площині огляду шини не менше 300 лк;
- система аварійного (евакуаційного) освітлення від автономних акумуляторних джерел вздовж усіх евакуаційних шляхів будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» забезпечує освітленість не менше 1 лк на рівні підлоги;
- вимірювання фактичної освітленості в будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» проводиться не рідше одного разу на рік із оформленням відповідного акту.

4.4.5 Забезпечення нормальних параметрів мікроклімату

Для підтримання нормативних параметрів мікроклімату відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [16] (категорія робіт Пб-III - важкі фізичні роботи) у виробничому залі будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» реалізуються такі заходи:

- система повітряного опалення від газових теплогенераторів проектується на забезпечення температури +13...+17 °С у холодний період відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [16];
- в'їзні ворота типу ОК-3 будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» обладнуються повітряно-тепловими завісами потужністю не менше 25 кВт з автоматичним вмиканням при відчиненні воріт;
- припливно-витяжна механічна вентиляція та місцеві витяжні пристрої (бортові відсмоктувачі) на ділянці вулканізації забезпечують видалення хімічних шкідливих виділень у місці їх утворення;

- відносна вологість повітря підтримується у межах 40-60 %, швидкість руху повітря у робочій зоні - не більше 0,5 м/с відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [16].

4.4.6 Заходи щодо пожежної безпеки

Будівля шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» відноситься до II ступеня вогнестійкості, категорія приміщень за вибухопожежною небезпекою - «В» (горючі матеріали: гума, мастильні матеріали). Передбачаються такі заходи пожежної безпеки:

- система автоматичної пожежної сигналізації (АПС) з адресними димовими та тепловими сповіщувачами у всіх приміщеннях будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК»;
- первинні засоби пожежогасіння: порошкові вогнегасники ВП-5 з розрахунку 1 шт. на 50 м² підлоги; для виробничого залу площею 2052 м² - не менше 41 вогнегасника;
- евакуаційні виходи шириною $\geq 1,5$ м (ворота ОК-1, ОК-3 та виходи з АБК), позначені світловими покажчиками «ВИХІД»;
- виконання зварювальних і вогневих робіт у будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» виключно при наявності оформленого дозволу, з очищенням зони в радіусі 5 м від горючих матеріалів та призначенням спостерігача з вогнегасником;
- щорічне навчання персоналу з програми пожежно-технічного мінімуму та практичні тренування з евакуації.

4.4.7 Заходи безпеки в умовах воєнної агресії

Відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці» [13] та Закону України «Про організацію трудових відносин в умовах воєнного стану», для будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» передбачаються такі заходи цивільного захисту:

- визначення укриттів для персоналу: оскільки будівля шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» не має підвального поверху (конструктивна схема передбачає лише стаканні фундаменти), при

- оголошенні повітряної тривоги персонал евакуюється до найближчої захисної споруди цивільного захисту на промисловому майданчику ПрАТ «ПолтавГЗК»; маршрути до укриттів позначаються покажчиками з фотолюмінесцентним покриттям та підтримуються у вільному від обладнання стані;
- порядок евакуації при оголошенні повітряної тривоги: кранівник зупиняє міст крана та опускає гак у безпечне положення; шиномонтажники відкладають пневматичний інструмент та відключають компресорні лінії; всі виходять через найближчий евакуаційний вихід (ворота ОК-1 або ОК-3) та прямують до укриття; час евакуації від сигналу до укриття - не більше 3 хвилин; відповідальний за евакуацію призначається на кожній зміні та перевіряє відсутність людей у приміщеннях;
 - оповіщення персоналу будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК»: встановлення звукових сирен та світлових оповіщувачів («ТРИВОГА») безпосередньо у виробничому залі з інтеграцією до загальноміської системи оповіщення м. Горішні Плавні; рівень гучності оповіщувачів повинен перевищувати фоновий шум виробництва не менше ніж на 10 дБА для гарантованої чутності сигналу;
 - резервне освітлення: автономні акумуляторні аварійні світильники вздовж евакуаційних маршрутів будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» автоматично вмикаються при зникненні основного електроживлення (відключенні при повітряній тривозі або пошкодженні мережі); забезпечують освітленість не менше 1 лк на рівні підлоги впродовж не менше 3 годин;
 - захист зашкленених поверхонь: стрічкові вікна ОК-4 на відм. +8,000 м будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» захищаються від ударної хвилі та вторинного розльоту осколків шляхом нанесення захисної самоклеювальної плівки на скло або встановлення металевих решіток зі сталевих прутків Ø10 мм з кроком 150×150 мм;

- медична допомога: аптечки першої допомоги розширеного складу розміщуються на кожному монтажному посту та у кабіні кранівника будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК»; склад аптек включає джгути, перев'язувальний матеріал, протишокові засоби; щонайменше один працівник на кожній зміні проходить підготовку з надання першої домедичної допомоги;
- навчання і тренування: практичні тренування персоналу будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» з дій при повітряній тривозі проводяться не рідше одного разу на квартал із відпрацюванням порядку зупинки кранового обладнання, евакуації та перевірки присутності всього персоналу.

4.5 Висновки

У розділі «Охорона праці» проведено комплексний аналіз умов праці та виявлено небезпечні та шкідливі виробничі фактори на об'єкті проектування - будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» у м. Горішні Плавні Полтавської обл.

За результатами аналізу встановлено основні НШВФ будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК»: небезпека падіння вантажу при роботі кранів $Q = 30/5$ т; ризик ураження електричним струмом у мережах 380/220 В; перевищення нормативних рівнів шуму (>80 дБА) від компресорного та пневматичного обладнання; хімічні шкідливі виділення на ділянці вулканізації та при зварювальних роботах; ризик пожежі в приміщеннях з горючими матеріалами. Біологічні НШВФ для основних виробничих робочих місць будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» є відсутніми.

Матричним методом оцінювання ризиків на робочому місці кранівника будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» встановлено: неприпустимий (надмірний) ризик - 1С (падіння вантажу) та 3А (шум); небажаний (гранично допустимий) ризик - 2D (електрострум), 2С (зіткнення з краном), 3В (зниження уваги).

Розроблено комплекс організаційно-технічних заходів для будівлі шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК»: технічне обслуговування кранів відповідно до НПАОП 0.00-1.80-18 [17]; заземлення та ПЗВ в електромережах; шумоізоляція компресорної; нормативне освітлення монтажних постів за ДБН В.2.5-28:2018 [4]; теплові завіси на в'їзних воротах відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [15]; місцева витяжна вентиляція на ділянці вулканізації; АПС та вогнегасники. Розроблено заходи цивільного захисту персоналу в умовах воєнного стану.

Реалізація запропонованих заходів дозволить знизити рівень виробничого травматизму та привести будівлю шиномонтажного відділення ПрАТ «ПолтавГЗК» у відповідність до вимог законодавства України у сфері охорони праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.1.2 - 2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування» зі змінами 1 та 2. К.: Мінбуд України. 2006. - 59 с.
2. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія». - К.: Мінрегіонбуд України, 2010. - Чинний від 01.11.2011.
3. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель». К.: Міністерство розвитку громад та територій України. 2022. -27 с.
4. ДСТУ 9191:2022 «Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель». К.: ДП «Укр НДІНЦ». 2022. - 63с.
5. ДСТУ 8855:2019 «Визначення класу наслідків (відповідальності)». К.: ДП «Укр НДІНЦ». 2019. - 14с.
6. ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування. К.: Мінрегіонбуд України». 2014. - 199 с.
7. Солодовник Ю.Ю., Рюмін В.В., Рюміна Є.О. Розрахунок рамних конструкцій з урахуванням фактичної жорсткості вузлових з'єднань. 2020. Науковий вісник будівництва. Вип. 3(101). С. 115-121.
8. Проектування поперечної рами металокаркасу виробничих будівель: методичні рекомендації до практичних занять із навчальної дисципліни «Проектування металевих конструкцій» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 192 - Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Промислове та цивільне будівництво») / Укладачі: Чередник Д.Л., Рюмін В.В., Солодовник Ю.Ю. Цифровий репозиторій ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. 2024. 56с.
9. ДСТУ 8940:2019 «Труби сталеві профільні. Технічні умови». - Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. - чинний від 01.01.2021.
10. ДСТУ EN ISO 17660-1:2015 Зварювання. Зварювання арматурної сталі. Частина 1. Зварні з'єднання, що несуть навантаження (EN ISO 17660-1:2006, IDT; ISO 17660-1:2006, IDT)

11. ДСТУ 3760:2019 «Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови» зі змінами № 1 та № 2. - К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019. - Чинний від 01.08.2019.
12. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 9 «Металеві конструкції». - К.: Мінрегіонбуд України, 2012. - 111 с.
13. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ. - Відомості Верховної Ради України, 1992. - № 49. - Ст. 668.
14. ДБН А.3.2-2-2009 «Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві». К.: Мінрегіонбуд України, 2012. - 122 с.
15. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення»
16. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»
17. НПАОП 0.00-1.62-12 «Правила охорони праці на автомобільному транспорті». - К.: Міністерство надзвичайних ситуацій України, 2012. - Чинні від 08.03.2013.
18. <https://eprints.kname.edu.ua/66218/>
19. <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/uk/article/view/210>
20. <https://www.ptz.in.ua/wp/sendvich-paneli/>
21. <https://earth.google.com/>