

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

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

Кафедра геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного будівництва

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

ВИРОБНИЧИЙ ЦЕХ ЛИВАРНОГО ЗАВОДУ В М. НОВОВОЛИНСЬК

Розробив: студент 3 курсу, групи ПЦБ 2023-2у
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія
освітня програма «Промислове та цивільне
будівництво»

Мілько Олександр Валентинович



Керівник



ст. викл. Гаврилюк О.В.

Рецензент



к.т.н., доцент Александрович В.А.

Харків

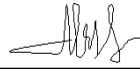
2026

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри геотехніки, підземних
споруд та гідротехнічного будівництва

 **Вадим АЛЕКСАНДРОВИЧ**
« 01 » червня 2026 року

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА**

Мілько Олександра Валентиновича

Спеціальність: *192 – Будівництво та цивільна інженерія*

Освітньо-професійна програма: *Промислове та цивільне будівництво*

Тема кваліфікаційної роботи: *Виробничий цех ливарного заводу в м. Нововолинськ* затверджена наказом ректора ХНУМГ ім. О. М. Бекетова № 447-03 від «26» травня 2026 року

Термін подання завершеної роботи на кафедру 17.06.2026 року

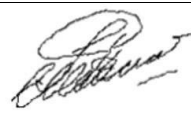
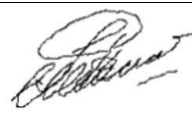
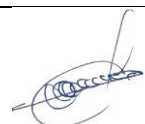
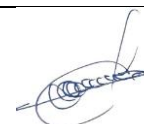
Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: *інженерно-геологічні умови, основні вимоги до несучих та огорожувальних конструкцій будівлі, архітектурно-планувальне рішення об'єкту.*

Зміст розрахунково-пояснювальної записки: *архітектурно-будівельна частина, розрахунково-конструктивна частина, технологічні рішення та організація будівництва, розділ охорони праці.*

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

- архітектурно-будівельна частина: *фасади, повздовжні та поперечні розрізи, план на відмітці 0.000;*
- розрахунково-конструктивна частина: *робочі креслення основних конструктивних елементів будівлі (фундаменти, колони, ригелі, елементи покриття та перекриття);*
- розділ технології будівельного виробництва: *технологічна карта.*

КОНСУЛЬТАНТИ РОЗДІЛІВ РОБОТИ

Розділ		Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
			завдання видав	завдання прийняв
1. Архітектурно-будівельна частина		Завальний О.В.		
2. Розрахунково-конструктивна частина	Розрахунок підземної частини об'єкту	Гаврилюк О.В.		
	Розрахунок надземної частини об'єкту	Шемет Р.М.		
3. Технологічні рішення та організація будівництва		Супрун О.Ю.		
4. Охорона праці		Нікітченко О.Ю.		
Нормоконтроль		Гаврилюк О.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Архітектурно-будівельна частина	01.06.2026-04.06.2026	виконано
2. Розрахунково-конструктивна частина	05.06.2026-10.06.2026	виконано
3. Технологічні рішення та організація будівництва	11.06.2026-14.06.2026	виконано
4. Охорона праці	15.06.2026-17.06.2026	виконано

Керівник кваліфікаційної роботи  ст. викл. Гаврилюк О.В.

Завдання прийняв до виконання  Мілько О.В.

Дата видачі завдання «01» червня 2026 р.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ I. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА.....	6
1.1 Характеристика майданчика будівництва виробничого цеху ливарного заводу	6
1.2 Технологічний процес ливарного цеху	10
1.3 Об'ємно-планувальне рішення виробничого цеху ливарного заводу ...	11
1.4 Конструктивне рішення будівлі виробничого цеху ливарного заводу	14
1.5 Опорядження будівлі виробничого цеху ливарного заводу.....	17
1.6 Інженерне обладнання.....	19
1.7 Теплотехнічний розрахунок	20
1.8 Техніко-економічні показники	22
РОЗДІЛ II. РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА	23
2.1 Розрахунок надземної частини виробничого цеху ливарного заводу	23
2.1.1 Конструкції надземної частини	23
2.1.2 Збір навантажень	23
2.1.3 Розрахунок навантажень на вузли ферми.....	25
2.1.4 Розрахунок зусиль у стрижнях ферми	27
2.1.5 Підбір перерізів стрижнів.....	29
2.1.6 Розрахунок зварних з'єднань вузлів ферми.....	29
2.2 Розрахунок підземної частини виробничого цеху ливарного заводу	46
2.2.1. Вихідні данні.....	46
2.2.2 Визначення розмірів фундаменту.....	46
2.2.3 Перевірка тиску під подошвою фундаменту.....	47
2.2.4 Конструювання фундаменту	48
2.2.5 Розрахунок армування подошви фундаменту	49
2.2.6 Розрахунок поздовжньої вертикальної арматури	52
2.2.7 Розрахунок поперечної арматури	53
РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА	54
3.1 Технологічна карта	54

3.1.1 Зведення монолітних залізобетонних колон	54
3.1.2 Монтаж залізобетонних і металевих збірних колон	58
3.1.3 Монтаж сталевих підкранових конструкцій.....	60
3.1.4 Монтаж кроквяних ферм	62
3.1.5 Монтаж ребристих залізобетонних плит	63
3.1.6 Монтаж світлоаераційних ліхтарів.....	65
3.2 Розроблення лінійного графіка спеціалізованого потоку.....	67
3.3 Рішення щодо безпечного виконання робіт та потивопожежної безпеки виконання робіт.....	68
3.4 Техніко-економічні показники комплексного процесу	70
РОЗДІЛ VI. ОХОРОНА ПРАЦІ	73
4.1 Аналіз умов виконання робіт.....	73
4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори.....	73
4.3 Організація безпечного виконання робіт на будівельному майданчику ...	74
4.4 Безпека під час монтажу конструкцій	75
4.5 Електробезпека та виробнича санітарія.....	75
4.6 Протипожежна безпека під час виконання робіт	76
4.7 Розрахунок безпечного розміщення гусеничного крана біля котловану...	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80

РОЗДІЛ І. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика майданчика будівництва виробничого цеху ливарного заводу

У межах бакалаврської кваліфікаційної роботи розроблено проєкт виробничого цеху ливарного заводу, розташованого в місті Нововолинськ Волинської області. Проєктована будівля має промислове призначення та призначена для забезпечення технологічного процесу виготовлення сталевих заготовок і супутніх виробів металургійного виробництва.

За класифікацією будівель цех належить до II класу. За пожежною небезпекою технологічного процесу виробництва віднесено до категорії «Д». З урахуванням застосованих будівельних конструкцій і матеріалів будівля прийнята II ступеня вогнестійкості.

Місто Нововолинськ розташоване в межах I кліматичної області [1]. За вітровим районуванням територія відповідає III району за швидкісним напором вітру. Основні кліматичні характеристики району будівництва прийняті такими:

- розрахункова температура найхолоднішої доби — мінус 32 °С;
- розрахункова температура найхолоднішої п'ятиденки — мінус 27 °С;
- нормативне вітрове навантаження — 38 кг/м²;
- нормативне снігове навантаження — 50 кг/м²;
- добовий максимум опадів — 80 мм;
- переважаючий напрямок вітру — східний;
- максимальна швидкість вітру — 4,3 м/с;
- глибина промерзання ґрунту — 0,95 м.

Територія розміщення виробничого цеху ливарного заводу пов'язана із загальною планувальною структурою Нововолинського металургійного заводу. Розташування будівлі на промисловому майданчику прийнято з урахуванням технологічної послідовності виробництва, транспортних зв'язків, санітарно-

гігієнічних вимог, протипожежних норм та умов безпечної експлуатації підприємства.

Сучасні технологічні процеси металургійного виробництва потребують значної кількості сировини, допоміжних матеріалів, енергетичних ресурсів і зручної системи внутрішньозаводської логістики. У зв'язку з цим проектування сталеливарного цеху передбачає не лише розміщення основної виробничої будівлі, а й організацію складських, транспортних, інженерних та допоміжних зон, необхідних для безперервного функціонування підприємства.

Виробничий цех ливарного заводу розташовується в межах промислової території, за межами житлової забудови. Таке рішення обумовлене характером технологічного процесу, наявністю виробничих викидів, шумового впливу, руху вантажного транспорту та необхідністю дотримання санітарно-захисних відстаней. Майданчик забезпечений зручними під'їзними шляхами, що використовуються для доставки сировини, будівельних матеріалів, обладнання, а також для вивезення готової продукції.

Розміщення будівлі виробничого цеху ливарного заводу прийнято з урахуванням середньорічної рози вітрів. Виробничі об'єкти, які можуть бути джерелами шкідливих викидів, розташовуються таким чином, щоб мінімізувати їхній вплив на житлові квартали, громадські будівлі та адміністративно-побутові приміщення підприємства. З огляду на особливості технологічного циклу, будівлю цеху доцільно розміщувати з підвітряного боку відносно об'єктів, для яких можливий негативний вплив виробничих викидів.

Для будівництва обрано ділянку зі спокійним рельєфом, що спрощує виконання підготовчих і земляних робіт, улаштування тимчасових та постійних доріг, прокладання інженерних мереж, а також забезпечує раціональне планування території. Планувальні рішення генерального плану виконані з урахуванням вимог ливарного виробництва, послідовності технологічних операцій, безпечного руху транспорту та організації виробничих потоків.

На території підприємства передбачено систему внутрішньозаводських проїздів. У необхідних місцях запроєктовані автомобільні дороги шириною 7 м,

що забезпечують рух вантажного транспорту, підвезення матеріалів, обслуговування виробничих і складських зон, а також безперешкодний під'їзд пожежної техніки до будівель і споруд. Для безпечного пересування працівників передбачено тротуари та пішохідні доріжки, розташування яких враховує напрямки та інтенсивність пішохідних потоків.

Проектом вирішено питання водовідведення та очищення промислових стічних вод. Для цього передбачено використання існуючих очисних споруд, які забезпечують необхідний рівень нейтралізації та очищення стоків, що утворюються під час експлуатації виробничого цеху. Такі заходи спрямовані на зменшення негативного впливу підприємства на навколишнє природне середовище.

З метою забезпечення належного санітарно-гігієнічного стану території та покращення умов праці на промисловому майданчику передбачено комплекс заходів з благоустрою. Уздовж автомобільних доріг запроектовано рядову посадку дерев і чагарників. Для озеленення рекомендується використовувати газостійкі породи рослин, здатні витримувати умови промислового середовища.

Техніко-економічні показники генерального плану приймаються відповідно до вимог ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій» [2]. Генеральним планом передбачено розміщення основної будівлі сталеливарного цеху, відкритих і закритих складів, адміністративної будівлі, допоміжного корпусу, господарської будівлі, трансформаторної підстанції, насосно-фільтрувальної станції, а також споруд водопостачання та каналізації.

За функціональним призначенням територію промислового підприємства поділено на такі основні зони: виробничу; адміністративно-побутову; допоміжну та складську.

Виробнича зона займає центральну частину промислового майданчика. У її межах розміщуються сталеливарний цех, склад готової продукції, відкритий склад, насосно-фільтрувальна станція, трансформаторна підстанція, допоміжний та господарський корпуси. Таке розташування забезпечує раціональну

організацію технологічних і транспортних зв'язків між основними елементами підприємства.

Адміністративно-побутова зона розташована поблизу головного входу на територію підприємства, з південно-східного боку промислового майданчика. У цій зоні передбачено розміщення адміністративної будівлі, зон відпочинку працівників, спортивних майданчиків, елементів благоустрою та малих архітектурних форм. Таке планувальне рішення забезпечує зручний доступ персоналу до адміністративних і побутових приміщень та відокремлює їх від основних виробничих процесів.

Перед початком будівельних робіт на ділянках із родючим шаром ґрунту передбачається його зняття товщиною 30 см. Частина знятого ґрунту використовується для подальшого озеленення території, а решта вивозиться для застосування під час рекультивації порушених земель. Це дозволяє раціонально використовувати природні ресурси та зменшити негативний вплив будівництва на довкілля.

Відповідно до санітарної класифікації виробництва проєктом передбачено санітарно-захисну зону розміром 50 м. Її наявність забезпечує зменшення впливу виробничих факторів на прилеглі території та створює необхідні умови для безпечної експлуатації об'єкта.

На вільних від забудови ділянках передбачено влаштування газонів, озеленення та елементів благоустрою. Розміщення тротуарів, пішохідних доріжок, зон відпочинку та малих архітектурних форм прийнято з урахуванням функціонального зонування території, зручності пересування працівників і вимог безпечної експлуатації промислового підприємства. Таким чином, прийняті планувальні рішення забезпечують раціональне використання території, ефективну організацію виробничого процесу, безпечний рух транспорту і пішоходів, а також дотримання санітарних, екологічних і протипожежних вимог.

1.2 Технологічний процес ливарного цеху

Основним призначенням виробничого цеху ливарного заводу є виготовлення виливків із металів і металевих сплавів, які після подальшої механічної обробки використовуються як заготовки або готові елементи для машинобудування, приладобудування, транспортної галузі, будівництва та інших сфер промисловості. Ливарне виробництво дає змогу отримувати деталі складної геометричної форми, які важко або економічно недоцільно виготовляти іншими способами обробки металів.

Сутність ливарного процесу полягає в отриманні розплавленого металу або сплаву необхідного хімічного складу та якості з подальшим заливанням його у заздалегідь підготовлену форму. Після заповнення форми розплав поступово охолоджується, кристалізується і переходить у твердий стан, зберігаючи конфігурацію порожнини форми.

Технологічний процес ливарного виробництва складається з комплексу основних і допоміжних операцій, які виконуються послідовно або паралельно в різних відділеннях ливарного цеху. До основних операцій належать підготовка формувальних і стрижневих сумішей, виготовлення форм і стрижнів, плавлення металу, заливання форм, охолодження виливків, вибивання з форм, очищення, обрубкування, термічна або механічна обробка та контроль якості готових виробів.

Одним із найпоширеніших способів отримання виливків є лиття в одноразові піщані форми. Така форма, як правило, складається з двох частин — нижньої та верхньої напівформи. Вони виготовляються шляхом ущільнення формувальної суміші навколо відповідних частин дерев'яної, металевої або полімерної моделі, розміщеної у спеціальних металевих рамках — опоках.

У процесі формування передбачається утворення ливникової системи, через яку розплавлений метал надходить із ковша до порожнини форми. До складу ливникової системи входять ливникова чаша або воронка, стояк, канали та живильники.

Після ущільнення формувальної суміші з напівформ видаляють модель виливка, елементи ливникової системи та моделі прибутків. Далі у нижню напівформу встановлюють стрижень, після чого форму закривають верхньою напівформою. Перед заливанням розплаву опоки надійно скріплюють між собою або навантажують, щоб запобігти підніманню верхньої напівформи під дією тиску рідкого металу.

Після складання форми здійснюється заливання розплавленого металу. Розплав надходить у форму через ливникову систему, заповнює її порожнину та після охолодження утворює виливок необхідної конфігурації. Після завершення процесу твердіння форму руйнують, виливок вибивають із формувальної суміші, очищують від залишків піску, відокремлюють ливникову систему та прибутки, після чого виріб передається на подальшу обробку або контроль.

Виливки різного призначення не можуть виготовлятися за єдиною технологічною схемою, оскільки вони відрізняються за масою, формою, умовами роботи, матеріалом і вимогами до якості. Саме тому в ливарному виробництві застосовується широкий спектр технологічних процесів, які відрізняються способом виготовлення форми, видом модельного оснащення, методом заливання металу, умовами охолодження та подальшої обробки [4].

Таким чином, технологічний процес сталеливарного цеху є складною системою взаємопов'язаних операцій, спрямованих на отримання якісних литих заготовок. Його ефективність залежить від правильного вибору способу лиття, раціональної організації виробничих потоків, застосування сучасного обладнання, дотримання технологічних режимів, вимог охорони праці, пожежної безпеки та екологічного захисту.

1.3 Об'ємно-планувальне рішення виробничого цеху ливарного заводу

Об'ємно-планувальне рішення виробничого цеху ливарного заводу прийнято з урахуванням функціонального призначення будівлі, особливостей технологічного процесу, вимог до організації вантажних і пішохідних потоків, а також необхідності раціонального використання виробничих площ. Планувальні

рішення території та розміщення виробничих, допоміжних і складських зон виконуються відповідно до вимог ДБН Б.2.2-12:2019 [2].

Проектований виробничий цех ливарного заводу складається з двох основних частин: головного виробничого корпусу та допоміжного виробничо-складського корпусу.

Головний виробничий корпус прийнято багатопрогоновим. У його складі передбачено розміщення основних технологічних відділень, пов'язаних із виконанням ливарного процесу, зокрема формувального, термічного, обробного та інших виробничих ділень. Розміри головного корпусу в осях 9–19 становлять 120 м, а в осях Е–Т — 120 м.

Допоміжний виробничо-складський корпус має два прольоти та призначений для розміщення складських, підготовчих і допоміжних приміщень. У його межах передбачено склади шихтових матеріалів, відділення підготовки формувальних сумішей, плавильну ділень, ковшове та розливальне відділення, а також інші приміщення, необхідні для забезпечення роботи основного виробництва. Розміри допоміжного корпусу в осях 20–22 становлять 48 м, а в осях А–F — 204 м.

Обидва корпуси мають подібне об'ємно-планувальне рішення, що забезпечує уніфікацію конструктивних елементів і спрощує виконання будівельно-монтажних робіт. Ширина прольоту прийнята 24 м, крок колон рам — 12 м. На зовнішніх рядах колон, а також у місцях примикання окремих частин будівлі передбачено встановлення додаткових фахверкових колон, які забезпечують сприйняття навантажень від огорожувальних конструкцій.

На позначці 8,4 м у будівлі передбачено вбудований робочий майданчик, який використовується для розміщення окремих технологічних або допоміжних зон, обслуговування обладнання та організації внутрішньоцехових процесів. Відстань від рівня чистої підлоги до осі нижнього поясу несучої ферми становить 21 м. Таке рішення забезпечує необхідний внутрішній простір для розміщення технологічного обладнання, роботи вантажопідіймальних механізмів і безпечного виконання виробничих операцій.

У кожному прольоті виробничого цеху передбачено встановлення електричних мостових кранів середнього режиму роботи. Максимальна вантажопідйомність кранів становить 10 т. Позначка головки кранової рейки прийнята на рівні 18,05 м. Наявність мостових кранів забезпечує механізоване переміщення сировини, форм, ковшів, виливків, обладнання та інших вантажів у межах виробничого простору.

Найбільша висота будівлі становить 27,75 м. Відмітка підшви фундаменту прийнята на рівні мінус 2,25 м. Такі параметри обумовлені висотою технологічного обладнання, габаритами мостових кранів, необхідністю забезпечення виробничого простору та конструктивними особливостями багатопрогової промислової будівлі.

Будівля має скатне покриття з організованим внутрішнім водовідведенням. Це рішення дозволяє забезпечити надійне відведення атмосферних опадів із покрівлі та зменшити вплив зовнішніх кліматичних факторів на експлуатаційний стан будівлі.

За конструктивною схемою виробничий цех ливарного заводу належить до каркасних багатопрогових промислових будівель. Несуча система складається із залізобетонних колон, на які спираються металеві ферми покриття. У будівлі також передбачено вбудоване залізобетонне балкове перекриття. Таке рішення забезпечує необхідну просторову жорсткість, стійкість і несучу здатність будівлі.

Проектована будівля виконується із застосуванням монолітних залізобетонних і збірних елементів заводського виготовлення. Розрахунок основних елементів каркаса наведено у розрахунково-конструктивному розділі бакалаврської роботи.

Для покращення природного освітлення та аерації виробничих приміщень у прольотах передбачено світлоаераційні поздовжні ліхтарі шириною 12 м. Їх улаштування сприяє покращенню умов праці, забезпечує надходження природного світла та організацію повітрообміну у виробничому просторі.

Прийняте об'ємно-планувальне рішення ґрунтується на принципах уніфікації, раціонального зонування та технологічної доцільності. Однакова ширина прольотів, повторюваність кроку колон і уніфікована висота опорних елементів дають змогу спростити конструктивні вузли, зменшити номенклатуру будівельних елементів і підвищити ефективність виконання монтажних робіт.

1.4 Конструктивне рішення будівлі виробничого цеху ливарного заводу

Будівля виробничого цеху ливарного заводу проєктується як багатопрогонова каркасна промислова споруда, що зводиться із застосуванням монолітних залізобетонних, збірних залізобетонних і металевих конструкцій. Прийнята конструктивна схема відповідає функціональному призначенню будівлі, технологічним вимогам ливарного виробництва та умовам експлуатації промислового об'єкта.

Несуча система будівлі прийнята у вигляді багатопрогонового каркаса. Основними несучими елементами є фундаменти, залізобетонні колони, кранові балки, металеві ферми покриття, плити покриття та система вертикальних і горизонтальних в'язей. Сумісна робота цих елементів забезпечує просторову жорсткість, стійкість і надійність будівлі під дією постійних, тимчасових, снігових, вітрових і кранових навантажень.

У поперечному напрямку жорсткість будівлі забезпечується жорстким защемленням колон у фундаментах, шарнірним спиранням несучих конструкцій покриття на колони та роботою жорсткого диска покриття. Така схема дозволяє сприймати вертикальні та горизонтальні навантаження, що виникають під час експлуатації виробничої будівлі.

У поздовжньому напрямку просторова стійкість каркаса забезпечується жорстким з'єднанням колон із фундаментами, системою вертикальних в'язей по колонах, роботою кранових балок, а також жорстким диском покриття. Вертикальні в'язі розміщуються у відповідних прольотах і забезпечують передачу горизонтальних зусиль на фундаменти.

Фундаменти під колони прийнято монолітними залізобетонними, стовпчастого типу, окремо розташованими, з улаштуванням на природній основі. Таке рішення є доцільним для каркасних промислових будівель із значними зосередженими навантаженнями від колон і кранового обладнання. Для спирання зовнішніх стін передбачено залізобетонні фундаментні балки типу 1БФ довжиною 6 м.

Колони каркаса прийнято ступінчастими, із консолями для спирання кранових балок. Вони сприймають навантаження від покриття, стінових огорожень, кранового обладнання, вітрових впливів та передають їх на фундаменти. З'єднання колон із горизонтальними несучими елементами покриття забезпечує формування просторової каркасної системи будівлі.

Огороджувальні конструкції виробничого цеху прийнято у вигляді збірних залізобетонних самонесучих стінових панелей товщиною 300 мм. Такі панелі забезпечують огороження внутрішнього простору будівлі, захист від атмосферних впливів і необхідну довговічність конструкцій в умовах промислової експлуатації.

Ділянки зовнішніх стін, що примикають до воріт, а також внутрішньоцехові перегородки передбачено виконувати з керамічної цегли з подальшим штукатуренням цементно-піщаним розчином і фарбуванням. Таке рішення дозволяє забезпечити міцність, ремонтпридатність і відповідність зовнішнього вигляду перегородок загальному архітектурному рішенню будівлі.

Світлові прорізи заповнюються сталевими віконними блоками. Застосування сталевих рам є доцільним для промислових будівель, у яких можливий вплив підвищеної температури, пилу, вологи або помірно агресивного середовища. Для засклення використовується листове скло товщиною 4 мм. Віконні блоки передбачають наявність рам, стулок, фрамуг і механізмів відкривання, що забезпечує можливість природного провітрювання та обслуговування світлових прорізів.

Покриття будівлі прийнято скатним, малоухильним. Несучими елементами покриття є металеві ферми з паралельними поясами. Пояси ферм

виконуються з широкополичних профілів, а решітка — з одиночних кутників. Висота кроквяної ферми становить 3150 мм. Таке конструктивне рішення забезпечує необхідну несучу здатність покриття при значних прольотах виробничої будівлі.

Як несучий настил покриття застосовуються збірні залізобетонні ребристі плити. Плити жорстко кріпляться до верхніх поясів ферм за допомогою зварювання закладних деталей, унаслідок чого формується жорсткий диск покриття. Це підвищує просторову стійкість будівлі та забезпечує сумісну роботу елементів каркаса.

Покрівля виробничого цеху має багатошарову конструкцію. До її складу входять захисний шар із гравію, гідроізоляційний килим із рулонних матеріалів на бітумній мастиці, цементно-піщана стяжка, теплоізоляційний шар, пароізоляція та несуча основа зі збірних залізобетонних плит. Таке рішення забезпечує захист будівлі від атмосферних опадів, зменшення тепловтрат і нормальні умови експлуатації внутрішніх приміщень.

Улаштування покрівлі передбачає організоване відведення дощових і талих вод через внутрішню систему водовідведення. Це особливо важливо для великопрогонових промислових будівель, де значна площа покриття потребує надійного водовідведення та захисту конструкцій від зволоження.

Монтаж будівлі виробничого цеху ливарного заводу передбачає поєднання монолітних робіт і встановлення збірних конструкцій заводського виготовлення. До монолітних робіт належить улаштування фундаментів і окремих залізобетонних елементів, а до монтажних — встановлення колон, ферм, плит покриття, стінових панелей, кранових балок та інших збірних елементів.

У будівлі передбачено зовнішні та внутрішні двері. Вони можуть бути однопільними або двопільними, глухими чи заскленими, залежно від функціонального призначення приміщень. Дверні полотна приймаються панельного типу.

Для забезпечення в'їзду транспорту, переміщення великогабаритного обладнання, матеріалів і готової продукції у зовнішніх стінах передбачаються

двостулкові ворота. Їх розміри приймаються відповідно до технологічних вимог, габаритів транспортних засобів і внутрішньоцехового обладнання.

Прийняте конструктивне рішення виробничого цеху ливарного заводу забезпечує необхідну міцність, стійкість, довговічність і функціональність будівлі. Каркасна схема дозволяє ефективно організувати великі виробничі простори, розмістити мостові крани, забезпечити зручність технологічного процесу та можливість подальшої експлуатації будівлі в умовах промислового виробництва.

1.5 Опорядження будівлі виробничого цеху ливарного заводу

Зовнішнє оздоблення будівлі виробничого цеху ливарного заводу прийнято з урахуванням її промислового призначення, умов експлуатації, вимог довговічності та архітектурної виразності фасадів. Стінові панелі з боку фасаду передбачаються із фактурним шаром заводського виготовлення, що забезпечує необхідну якість поверхні, захист конструкцій від атмосферних впливів та зменшує обсяг оздоблювальних робіт безпосередньо на будівельному майданчику.

Окремі ділянки зовнішніх стін, виконані з цегли, штукатуряться цементно-піщаним розчином. Після висихання штукатурного шару поверхні фарбуються у колір, наближений до тону та фактури фасадних панелей. Таке рішення забезпечує єдність архітектурного вигляду будівлі та візуальну цілісність фасадів [4].

Укоси віконних, дверних і ворітних прорізів також штукатуряться цементно-піщаним розчином. Після підготовки поверхні вони фарбуються білими силікатними фарбами, що забезпечує охайний зовнішній вигляд прорізів, підвищує світловідбивну здатність поверхонь і сприяє захисту штукатурного шару від впливу вологи та забруднення.

Дверні блоки та стулки воріт передбачається фарбувати світло-сірою олійною фарбою з обох боків у два шари по попередньо нанесеній ґрунтовці. Попереднє ґрунтування необхідне для підвищення адгезії фарбового покриття,

захисту матеріалу від корозії або зволоження та збільшення строку експлуатації дверних і ворітних заповнень.

Металеві пожежні сходи фарбуються темно-коричневою олійною фарбою у два шари. Перед фарбуванням металеві поверхні очищуються від забруднень, пилу, іржі та залишків старого покриття. Таке оздоблення виконує не лише декоративну, а й захисну функцію, оскільки зменшує вплив атмосферної вологи на металеві елементи та підвищує їхню довговічність [8].

Внутрішнє оздоблення основних виробничих приміщень приймається з урахуванням технологічного процесу ливарного виробництва, можливого утворення пилу, підвищеної температури, механічних забруднень і необхідності регулярного очищення поверхонь. Стіни та стелі основних виробничих приміщень передбачається білити вапняним розчином у два шари. Нижня частина стін на висоту 2 м фарбується олійною фарбою, що підвищує зносостійкість поверхонь і полегшує їх очищення під час експлуатації.

У санітарно-побутових приміщеннях стелі штукатуряться та фарбуються вапняним розчином у два шари. Стіни на висоту 2 м облицьовуються керамічною плиткою, а вище цієї позначки фарбуються вапняним розчином. Таке рішення відповідає вимогам гігієнічності, вологостійкості та зручності санітарного обслуговування приміщень.

Підлоги в санітарно-побутових приміщеннях виконуються з керамічної плитки на бітумній мастиці. Керамічна плитка забезпечує необхідну вологостійкість, зносостійкість і простоту догляду за поверхнею підлоги, що є важливим для приміщень із підвищеними санітарно-гігієнічними вимогами.

У виробничих приміщеннях підлоги передбачено виконувати з асфальтобетону марки 200. Таке покриття є доцільним для промислових будівель, оскільки воно має достатню міцність, стійкість до стирання, здатність сприймати експлуатаційні навантаження від обладнання, транспорту та переміщення вантажів.

Навколо будівлі передбачено влаштування асфальтобетонного вимощення по щебеневій основі. Ширина вимощення становить 1,5 м. Воно виконується з

ухилом від будівлі для відведення поверхневих вод від фундаментів і захисту основи будівлі від надмірного зволоження. Улаштування вимощення сприяє підвищенню довговічності фундаментів, покращує експлуатаційний стан прилеглої території та забезпечує зручність пересування вздовж будівлі.

1.6 Інженерне обладнання

Інженерне обладнання виробничого цеху ливарного заводу передбачає системи опалення, вентиляції, водопостачання, каналізації, електропостачання, заземлення, автоматизації та зв'язку.

Система опалення приймається з урахуванням технологічного процесу та призначення окремих приміщень. Розрахункова температура повітря в робочій зоні основних виробничих приміщень у робочу зміну становить $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Теплопостачання будівлі здійснюється від міської теплової мережі або існуючих мереж підприємства [6].

Вентиляція приміщень передбачається природною та припливно-витяжною з механічним спонуканням. Природний повітрообмін здійснюється через віконні прорізи, фрамуги та світлоаераційні ліхтарі. Для видалення надлишкового тепла, пилу та шкідливих виділень передбачено механічну припливно-витяжну вентиляцію через систему металевих повітроводів круглого перерізу [6].

Водопостачання цеху проєктується для господарсько-питних, виробничих і протипожежних потреб. Вода подається від міської водопровідної мережі трубопроводом діаметром 200 мм. Протипожежне водопостачання приймається відповідно до вимог пожежної безпеки промислових будівель [5].

Каналізація виробничого цеху підключається до існуючих мереж побутової та виробничої каналізації. Відведення стічних вод здійснюється самотісними зовнішніми мережами. Улаштування окремої зливової каналізації проєктом не передбачається.

Електропостачання будівлі здійснюється від міських електричних мереж або електромереж підприємства. Живильні та розподільчі мережі приймаються кабельними, з прокладанням у трубах або спеціальних каналах. Електроенергія

використовується для роботи технологічного обладнання, вентиляційних установок, освітлення та інженерних систем.

Для забезпечення електробезпеки передбачено заземлення електрообладнання, металевих корпусів машин, струмоведучих частин і мереж. Електричні установки приєднуються до контуру заземлення з опором не більше 4 Ом.

Робота систем опалення, вентиляції, водопостачання та інших інженерних мереж передбачається з елементами автоматизації. Зв'язок у виробничому цеху здійснюється через автоматичну телефонну станцію підприємства.

1.7 Теплотехнічний розрахунок

Теплотехнічний розрахунок зовнішньої стіни виробничого цеху ливарного заводу виконується з метою перевірки відповідності огорожувальної конструкції нормативним вимогам щодо опору теплопередачі.

Розрахунок проводиться відповідно до нормативних документів: ДБН В.2.6-31:2021, ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [7, 1].

Таблиця 1.1 — Вихідні дані для теплотехнічного розрахунку

№ з/п	Шар огорожувальної конструкції	Товщина шару δ , м	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м·°C)	Термічний опір $R = \delta/\lambda$, м²·°C/Вт
1	Фактурний шар із цементно-перлітового розчину	0,02	0,21	0,095
2	Стінова панель із керамзитобетону	0,30	0,80	0,375
3	Внутрішній шар із вапняно-піщаного розчину	0,01	0,70	0,014
4	Опір тепловіддачі внутрішньої поверхні	—	$\alpha_{\text{в}} = 8,7$	0,115
5	Опір тепловіддачі зовнішньої поверхні	—	$\alpha_{\text{н}} = 23$	0,043
	Загальний фактичний опір теплопередачі			0,642

Зовнішня стіна складається з фактурного шару цементно-перлітового розчину, стінової панелі із керамзитобетону та внутрішнього оздоблювального шару із вапняно-піщаного розчину.

Опір теплопередачі огорожувальної конструкції визначається за формулою:

$$R_0 = R_1 + R_2 + R_3 + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (1.1)$$

де $\alpha_{\text{в}}$ — коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції,

$\alpha_{\text{н}}$ — коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції для зимових умов,

R_1, R_2, R_3 — термічні опори окремих шарів зовнішньої стіни.

Необхідний опір теплопередачі огорожувальної конструкції визначається за формулою:

$$R_0^{\text{тр}} = \frac{n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\alpha_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{н}}}, \quad (1.2)$$

де n — коефіцієнт, що враховує положення зовнішньої стіни відносно зовнішнього повітря, приймається $n = 1$;

$\Delta t_{\text{н}}$ — нормативний температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, приймається $\Delta t_{\text{н}} = 8^\circ\text{C}$;

$t_{\text{в}}$ — розрахункова температура внутрішнього повітря, приймається $t_{\text{в}} = +16^\circ\text{C}$;

$t_{\text{н}}$ — розрахункова зимова температура зовнішнього повітря.

Розрахункова температура зовнішнього повітря визначається як середнє значення між температурою найхолоднішої доби та температурою найхолоднішої п'ятиденки:

$$t_{\text{н}} = \frac{t_{\text{н1}} + t_{\text{н5}}}{2}. \quad (1.3)$$

За вихідними даними: $t_{н1} = -32^{\circ}\text{C}$, $t_{н5} = -27^{\circ}\text{C}$. Тоді: $t_{н} = \frac{-32+(-27)}{2} = -29,5^{\circ}\text{C}$.

Необхідний опір теплопередачі становить:

$$R_0^{\text{тр}} = \frac{1 \cdot (16 - (-29,5))}{8,7 \cdot 8} = 0,654 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

Порівнюємо отримані значення: $R_0 = 0,642 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, $R_0^{\text{тр}} = 0,654 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Отже, фактичний опір теплопередачі зовнішньої стіни є дещо меншим за необхідний:

$$R_0 < R_0^{\text{тр}}.$$

Таким чином, прийнята конструкція зовнішньої стіни не повністю задовольняє умову теплотехнічного розрахунку. Для забезпечення нормативного опору теплопередачі доцільно передбачити збільшення товщини теплоізоляційного шару або застосування матеріалу з нижчим коефіцієнтом теплопровідності.

1.8 Техніко-економічні показники

Проектними рішеннями передбачено розміщення основної виробничої будівлі, допоміжних і складських споруд, внутрішньомайданчикових автомобільних доріг, тротуарів, платформ, зон благоустрою та озеленення. Планувальна структура території забезпечує зручний рух транспорту, безпечне пересування працівників, під'їзд пожежної техніки та раціональну організацію виробничих процесів.

Таблиця 1.2 — Техніко-економічні показники генерального плану

№ з/п	Найменування показника	Одиниця виміру	Значення
1	Площа ділянки в огороженні	га	10,5
2	Площа забудови	га	5,5
3	Щільність забудови	%	52,4
4	Площа благоустрою території	га	1,6
5	Відсоток озеленення	%	15
6	Площа доріг, тротуарів і платформ	га	2,1

7	Відсоток використання території	%	85
---	---------------------------------	---	----

Прийняті техніко-економічні показники свідчать про достатньо раціональне використання території промислового майданчика.

РОЗДІЛ II. РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок надземної частини виробничого цеху ливарного заводу

2.1.1 Конструкції надземної частини

Для виконання розрахунку несучих конструкцій покриття виробничого цеху ливарного заводу прийнято такі вихідні дані.

Таблиця 2.1 — Вихідні дані для розрахунку кроквяної ферми

№ з/п	Найменування показника	Позначення	Значення
1	Довжина будівлі	$L_{\text{буд}}$	204 м
2	Проліт будівлі	L	24 м
3	Крок колон	B	12 м
4	Висота ферми на опорі	$h_{\text{ф}}$	3,15 м
5	Ширина світлоаераційного ліхтаря	—	12 м
6	Контур поясів кроквяної ферми	—	паралельний
7	Тип решітки кроквяної ферми	—	трикутна
8	Ухил поясів	i	1,5 %
9	Місце будівництва	—	м. Нововолинськ
10	Тип покриття	—	залізобетонні плити 3×12 м

Проектом передбачено застосування кроквяної металевої ферми з паралельними поясами. Ферма має трикутну гратчасту систему та призначена для спирання збірних залізобетонних плит покриття розміром 3×12 м.

Поперечні перерізи елементів ферми прийнято такими: пояси кроквяної ферми виконуються з широкополічних таврів; елементи решітки ферми виконуються зі спарених рівнополічних кутиків.

2.1.2 Збір навантажень

Таблиця 2.2 — Збір навантажень від покриття

	Тип навантаження	Коефіцієнт надійності γ_f	Нормативне навантаження, кН/м ²	Розрахункове навантаження, кН/м ²
1	Шар гравію	1,3	0,20	0,26
2	Гідроізоляційний килим	1,3	0,15	0,20
3	Цементно-піщана стяжка	1,3	0,45	0,59
4	Теплоізоляційний шар із пінобетону	1,3	0,50	0,65
5	Пароізоляція: 1 шар рубероїду на бітумній мастиці	1,3	0,05	0,065
6	Збірні залізобетонні плити покриття розміром 3×12 м	1,1	2,20	2,42
	Разом від постійних навантажень g		3,55	4,185

Навантаження від покриття на одну кроквяну ферму визначається з урахуванням кроку колон, який становить $B = 12$ м:

$$q_{g,n} = g_n \times B = 3,5 \times 12 = 42,0 \text{ кН/м},$$

$$q_g = g \times B = 4,1 \times 12 = 49,2 \text{ кН/м}.$$

Нормативне снігове навантаження становить: $S_n = 0,50 \text{ кН/м}^2$, коефіцієнта надійності за навантаженням: $\gamma_f = 1,4$. Розрахункове снігове навантаження:

$$S = S_n \times \gamma_f = 0,50 \times 1,4 = 0,70 \text{ кН/м}^2. \quad (2.1)$$

Навантаження від снігу на одну кроквяну ферму:

$$q_{s,n} = S_n \times B = 0,50 \times 12 = 6,0 \text{ кН/м}, \quad (2.2)$$

$$q_s = S \times B = 0,70 \times 12 = 8,4 \text{ кН/м}.$$

Власна вага кроквяної ферми з в'язями враховується окремо. Її значення приймається за конструктивними даними металевої ферми або за попереднім підбором перерізів елементів. З урахуванням можливого накопичення пилу у виробничому приміщенні власну вагу ферми доцільно приймати з відповідним запасом.

Загальне розрахункове рівномірно розподілене навантаження на кроквяну ферму без урахування власної ваги ферми становить:

$$q = q_g + q_s = 49,2 + 8,4 = 57,6 \text{ кН/м}. \quad (2.3)$$

Власна вага ферми з в'язями додається до цього значення після визначення або попереднього прийняття маси металевої конструкції.

2.1.3 Розрахунок навантажень на вузли ферми

Розрахункові навантаження на вузли кроквяної ферми визначаються з урахуванням навантаження від покриття, світлоаераційного ліхтаря, снігового покриву та власної ваги ферми з в'язями. Навантаження прикладаються до вузлів верхнього поясу ферми відповідно до вантажних площ, що припадають на кожний вузол.

Навантаження від ваги покриття і світлоаераційного ліхтаря

Для крайніх вузлів ферми навантаження приймається як половина навантаження, що діє на суміжний вузол:

$$F_{\text{пф}0} = F_{\text{пф}7} = \frac{F_{\text{пф}1}}{2} = \frac{127,65}{2} = 63,8 \text{ кН.} \quad (2.4)$$

Навантаження на вузли $F_{\text{пф}1}$ та $F_{\text{пф}6}$ визначається за формулою:

$$F_{\text{пф}1} = F_{\text{пф}6} = q'_{\text{кр}} \times A_{\text{гр}}, \quad (2.5)$$

$$F_{\text{пф}1} = F_{\text{пф}6} = 3,7 \times \left[12 \times \frac{2,75 + 3}{2} \right] = 127,65 \text{ кН.}$$

Навантаження на вузли, які сприймають додаткове навантаження від світлоаераційного ліхтаря, визначається з урахуванням власної ваги його конструкцій:

$$F_{\text{пф}2} = F_{\text{пф}5} = q'_{\text{кр}} \times A_{\text{гр}} + (g'_{\text{фон}} \times B \times 0,5 \times d + g_{\text{в.ст.}} \times B) \cdot \gamma_n. \quad (2.6)$$

Підставляємо числові значення:

$$F_{\text{пф}2} = F_{\text{пф}5} = 3,7 \times 36 + (0,1 \times 12 \times 0,5 \times 3 + 2 \times 12) \times 0,95 = 157 \text{ кН.}$$

Для середніх вузлів ферми навантаження становить:

$$F_{\text{пф}3} = F_{\text{пф}4} = 3,7 \times 54 + (0,1 \times 12 \times 0,5 \times 3 + 2 \times 12) \times 0,95.$$

$$F_{\text{пф}3} = F_{\text{пф}4} = 199,8 + 5,2 = 205 \text{ кН.}$$

Навантаження від снігового покриву

Снігове навантаження на вузли ферми визначається відповідно до вантажних площ, що припадають на окремі вузли верхнього поясу.

Для крайніх вузлів:

$$F_{c0} = F_{c7} = \frac{F_{c1}}{2} = \frac{29,3}{2} = 14,65 \text{ кН.}$$

Для вузлів F_{c1} та F_{c6} :

$$F_{c1} = F_{c6} = P_{\text{сн2}}^c \times A_{\text{гр}}, \quad (2.7)$$

$$F_{c1} = F_{c6} = 0,85 \times 34,5 = 29,3 \text{ кН.}$$

Для вузлів F_{c2} та F_{c5} :

$$F_{c2} = F_{c5} = P_{\text{сн1}}^c \times (1,5 \cdot 12) + P_{\text{сн2}}^c \times (1,5 \times 12) = 25,4 \text{ кН.}$$

Для вузлів F_{c3} та F_{c4} :

$$F_{c3} = F_{c4} = P_{\text{сн1}}^c \times (4,5 \times 12) = 30,2 \text{ кН.}$$

Навантаження від власної ваги ферми

Власна вага ферми з урахуванням в'язей приймається як рівномірно розподілене навантаження, яке передається на вузли ферми:

$$F = 0,39 \times \left(\frac{3+3}{2}\right) \times 12 = 14,1 \text{ кН.}$$

Отримане навантаження від власної ваги ферми прикладається до кожного вузла ферми, крім опорних вузлів. Для опорних вузлів приймається половина

цього значення:

$$\frac{F}{2} = \frac{14,1}{2} = 7,05 \text{ кН.}$$

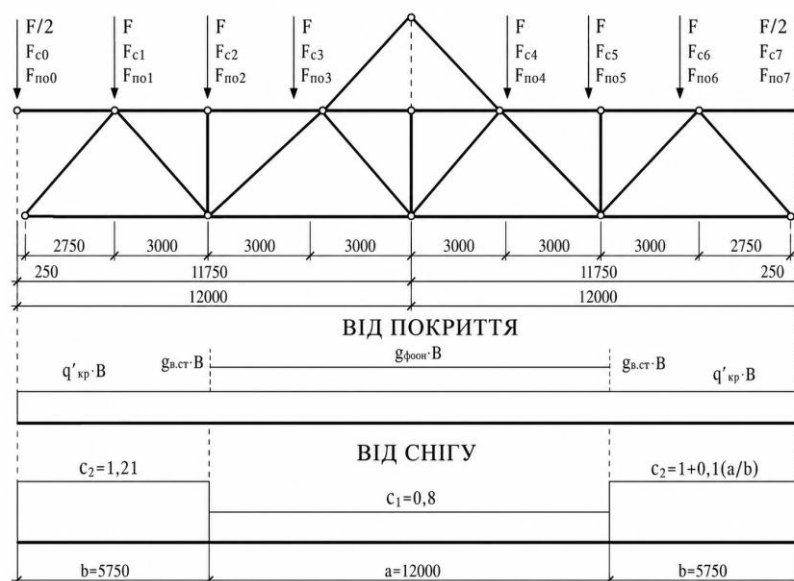
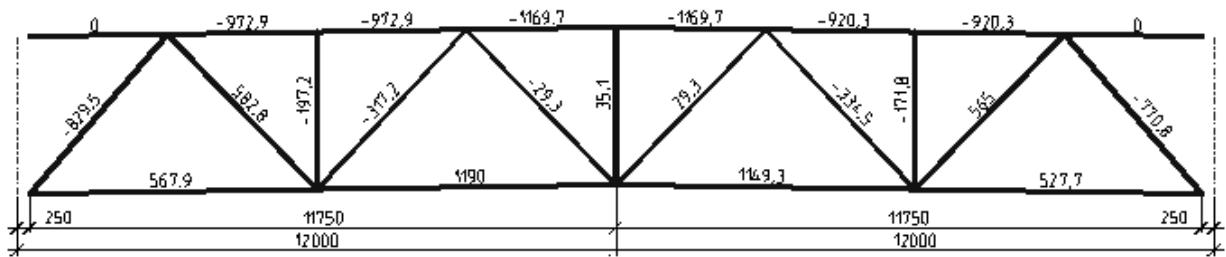


Рисунок 2.1 – Характер прикладання розрахункових навантажень до вузлів ферми

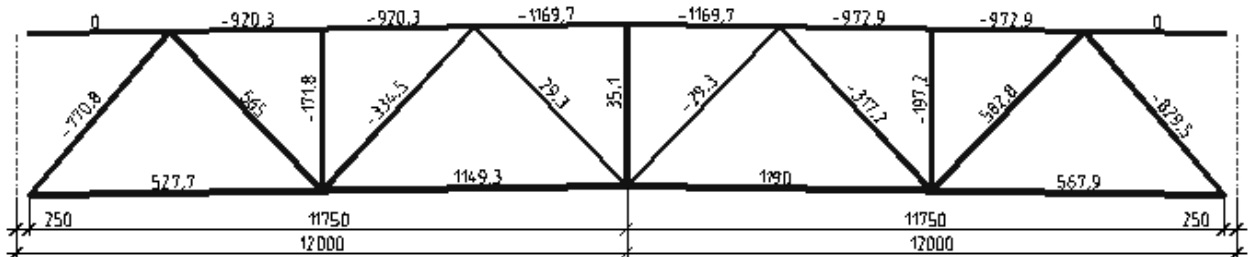
2.1.4 Розрахунок зусиль у стрижнях ферми

Розрахунок кроквяної ферми виконано у програмному комплексі SCAD 21.9.9. Для визначення найбільш несприятливих зусиль у стрижнях ферми розглянуто три варіанти завантаження:

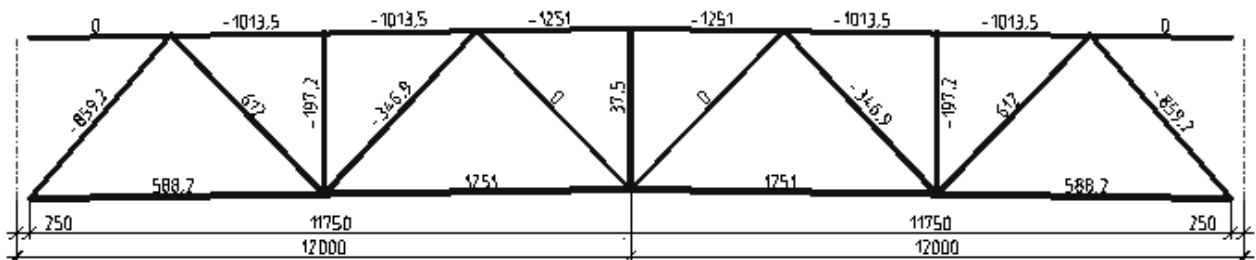
- постійне навантаження та снігове навантаження на лівій половині прольоту;
- постійне навантаження та снігове навантаження на правій половині прольоту;
- постійне навантаження та снігове навантаження на всьому прольоті.



a)



б)



с)

Рисунок 2.2 – Схема завантаження ферми постійним навантаженням і сніговим навантаженням: а – на лівій половині прольоту, б - на правій половині прольоту, с – на всьому прольоті

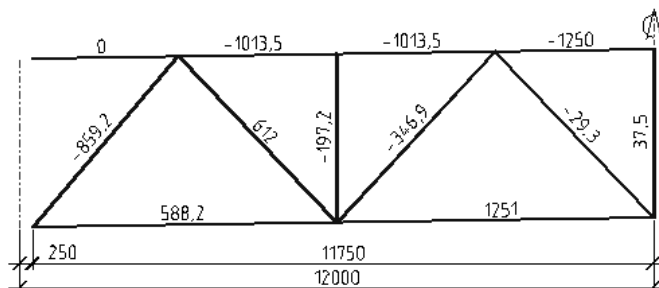


Рисунок 2.3 – Схема завантаження ферми постійним навантаженням і сніговим навантаженням на всьому прольоті

Таблиця 2.2 — Розрахункові зусилля у стрижнях ферми

Група елементів	Стрижень ферми	Зусилля від постійного навантаження, кН	Сніг ліворуч, кН	Сніг праворуч, кН	Сніг на всьому прольоті, кН	Прийняте розрахункове зусилля, кН
Верхній пояс	2–7	0	0	0	0	0
Верхній пояс	3–9	-972,9	-920,3	-1013,5	-1013,5	-1013,5
Верхній пояс	4–10	-972,9	-920,3	-1013,5	-1013,5	-1013,5
Верхній пояс	5–12	-1169,7	-1169,7	-1250,0	-1250,0	-1250,0
Нижній пояс	1–8	567,9	527,7	588,2	588,2	588,2
Нижній пояс	1–11	1190,0	1149,3	1251,0	1251,0	1251,0
Стійки	9–10	-197,2	-171,8	-197,2	-197,2	-197,2
Стійки	12–12'	35,1	35,1	37,5	37,5	37,5
Розкоси	7–8; 7'–8'	-829,5	-770,8	-859,2	-859,2	-859,2
Розкоси	8–9; 8'–9'	582,8	565,0	612,0	612,0	612,0
Розкоси	10–11; 10'–11'	-317,2	-334,5	-346,9	-346,9	-346,9
Розкоси	11–12; 11'–12'	-29,3	29,3	0	-29,3	-29,3

Примітка. Знак «+» відповідає розтягувальному зусиллю, знак «-» — стискальному зусиллю у стрижні ферми.

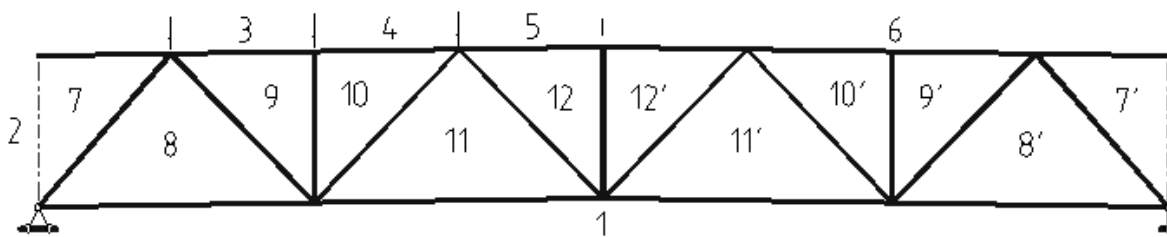


Рисунок 2.6 – Нумерація стрижнів

Отримані результати показують, що найбільші стискальні зусилля виникають у стрижнях верхнього поясу ферми, а найбільші розтягувальні зусилля — у стрижнях нижнього поясу.

2.1.5 Підбір перерізів стрижнів

Підбір перерізів елементів кроквяної ферми виконується за найбільшими розрахунковими зусиллями, отриманими в результаті статичного розрахунку. Для елементів ферми прийнято сталь С245. Розрахунок стиснутих елементів виконується з урахуванням їх стійкості, а розтягнутих — за умовою міцності поперечного перерізу. Результати розрахунків наведено в таблиці 2.3 – 2.5.

За результатами підбору встановлено, що прийняті поперечні перерізи стрижнів ферми забезпечують необхідну несучу здатність.

2.1.6 Розрахунок зварних з'єднань вузлів ферми

Розрахунок зварних швів виконується для основних вузлів кроквяної ферми з урахуванням розрахункових зусиль у стрижнях, прийнятих перерізів елементів, марки електродів та умов роботи з'єднання. Для зварювання прийнято електроди Е42А. Зварювання виконується ручним способом.

Розрахунок довжини та катетів кутових швів виконується за міцністю металу шва та за умовою міцності по межі сплавлення. За результатами перевірки приймаються більші значення довжин швів, округлені до конструктивно зручних розмірів.

Таблиця 2.6 — Вихідні дані для розрахунку зварних швів

№ з/п	Показник	Позначення	Значення
-------	----------	------------	----------

1	Марка електродів	—	E42A
2	Розрахунковий опір металу шва	R_{wf}	18 кН/см ²
3	Розрахунковий опір по межі сплавлення	R_{wz}	17,1 кН/см ²
4	Коефіцієнт для металу шва	β_f	0,7
5	Коефіцієнт для межі сплавлення	β_z	1,0
6	Коефіцієнт умов роботи металу шва	γ_{wf}	1,0
7	Коефіцієнт умов роботи межі сплавлення	γ_{wz}	1,0
8	Вид зварювання	—	ручне

Таблиця 2.3 — Розрахунок стиснутих елементів ферми

Елемент ферми	Розрахункове зусилля N , кН	Розрахункова довжина, см	Сталь	γ_c	Попередньо прийнято	Потрібна площа $A_{тр}$, см ²	Прийнятий переріз	Характеристики прийнятого перерізу	Перевірка напружень	Висновок
Верхній пояс 5–12	-1250,0	$L_x = 300$, $L_y = 300$	C245, $R_y = 24$ кН/см ²	0,95	$\lambda = 70$, $\varphi = 0,754$	$A_{тр} = \frac{1250}{24 \cdot 0,754 \cdot 0,95} = 72,71$	T20ШТ2	$A = 70,37$ см ² ; $i_x = 5,15$ см; $i_y = 7,16$ см	$\lambda_x = \frac{300}{5,15} = 58$; $\varphi = 0,815$; $\sigma = \frac{1250}{70,37 \cdot 0,815 \cdot 0,95} = 22,9$ кН/см ² <24	Умова виконується
Стійка 9–10	-197,2	$L_0 = 315$; $L_x = 0,8 \cdot 315 = 252$; $L_y = 315$	C245, $R_y = 24$ кН/см ²	0,80	$\lambda = 100$, $\varphi = 0,542$	$A_{тр} = \frac{197,2}{2 \cdot 24 \cdot 0,542 \cdot 0,8} = 9,47$	2L 80×7	$\Sigma A = 21,7$ см ² ; $i_x = 2,45$ см; $i_y = 3,09$ см	$\lambda_x = \frac{252}{2,45} = 103$; $\varphi = 0,527$; $\sigma = \frac{197,2}{21,7 \cdot 0,527 \cdot 0,8} = 21,7$ кН/см ² <24	Умова виконується
Опорний розкіс 7–8	-859,2	$L_x = 421,3$, $L_y = 421,3$	C245, $R_y = 24$ кН/см ²	0,95	$\lambda = 100$, $\varphi = 0,542$	$A_{тр} = \frac{859,2}{2 \cdot 24 \cdot 0,542 \cdot 0,95} = 34,8$	2L 180×12	$\Sigma A = 84,38$ см ² ; $i_x = 3,58$ см; $i_y = 5,59$ см	$\lambda_x = \frac{421,3}{3,58} = 117$; $\varphi = 0,436$; $\sigma = \frac{859,2}{84,38 \cdot 0,436 \cdot 0,95} = 24,0$ кН/см ²	Умова виконується
Стиснутий розкіс 10–11	-346,9	$L_0 = 438,3$; $L_x = 0,8 \cdot 438,3 = 350,6$; $L_y = 350,6$	C245, $R_y = 24$ кН/см ²	0,80	$\lambda = 100$, $\varphi = 0,542$	$A_{тр} = \frac{346,9}{2 \cdot 24 \cdot 0,542 \cdot 0,8} = 16,67$	2L 110×8	$\Sigma A = 34,4$ см ² ; $i_x = 3,39$ см; $i_y = 4,87$ см	$\lambda_x = \frac{350,6}{3,39} = 103$; $\varphi = 0,523$; $\sigma = \frac{346,9}{34,4 \cdot 0,523 \cdot 0,8} = 24,0$ кН/см ²	Умова виконується
Стиснутий розкіс 11–12	-29,3	$L_0 = 431,7$; $L_x = 0,8 \cdot 431,7 = 345,4$; $L_y = 345,4$	C245, $R_y = 24$ кН/см ²	0,80	$\lambda = 100$, $\varphi = 0,542$	$A_{тр} = \frac{29,3}{2 \cdot 24 \cdot 0,542 \cdot 0,8} = 1,41$	2L 80×7	$\Sigma A = 21,7$ см ² ; $i_x = 2,45$ см; $i_y = 3,09$ см	$\lambda_x = \frac{345,4}{2,45} = 141$; $\varphi = 0,310$; $\sigma = \frac{29,3}{21,7 \cdot 0,310 \cdot 0,8} = 5,45$ кН/см ² <24	Умова виконується

Таблиця 2.4 — Розрахунок розтягнутих елементів ферми

Елемент ферми	Розрахункове зусилля N , кН	Сталь	γ_c	Потрібна площа $A_{тр}$, см ²	Прийнятий переріз	Площа прийнятого перерізу, см ²	Перевірка напружень	Висновок
Нижній пояс 1–11	1251,0	C245, $R_y = 24$ кН/см ²	1,05	$A_{тр} = \frac{1251}{24 \cdot 1,05} = 49,6$	T17,5ШТЗ	57,78	$\sigma = \frac{1251}{57,78 \cdot 1,05} = 20,6$ кН/см ² < 24	Умова виконується
Коникова стійка 12–12'	37,5	C245, $R_y = 24$ кН/см ²	1,05	$A_{тр} = \frac{37,5}{24 \cdot 1,05} = 1,49$	2L 63×5	12,26	$\sigma = \frac{37,5}{12,26 \cdot 1,05} = 2,9$ кН/см ² < 24	Умова виконується
Розтягнутий розкіс 8–9	612,0	C245, $R_y = 24$ кН/см ²	1,05	$A_{тр} = \frac{612}{2 \cdot 24 \cdot 1,05} = 12,15$	2L 90×7	24,56	$\sigma = \frac{612}{24,56 \cdot 1,05} = 23,7$ кН/см ² < 24	Умова виконується

Таблиця 2.5 — Розрахунок розтягнутих елементів ферми

Елемент ферми	Розрахункове зусилля N , кН	Сталь	γ_c	Потрібна площа $A_{тр}$, см ²	Прийнятий переріз	Площа прийнятого перерізу, см ²	Перевірка напружень	Висновок
Нижній пояс 1–11	1251,0	C245, $R_y = 24$ кН/см ²	1,05	$A_{тр} = \frac{1251}{24 \cdot 1,05} = 49,6$	T17,5ШТЗ	57,78	$\sigma = \frac{1251}{57,78 \cdot 1,05} = 20,6$ кН/см ² < 24	Умова виконується
Коникова стійка 12–12'	37,5	C245, $R_y = 24$ кН/см ²	1,05	$A_{тр} = \frac{37,5}{24 \cdot 1,05} = 1,49$	2L 63×5	12,26	$\sigma = \frac{37,5}{12,26 \cdot 1,05} = 2,9$ кН/см ² < 24	Умова виконується
Розтягнутий розкіс 8–9	612,0	C245, $R_y = 24$ кН/см ²	1,05	$A_{тр} = \frac{612}{2 \cdot 24 \cdot 1,05} = 12,15$	2L 90×7	24,56	$\sigma = \frac{612}{24,56 \cdot 1,05} = 23,7$ кН/см ² < 24	Умова виконується

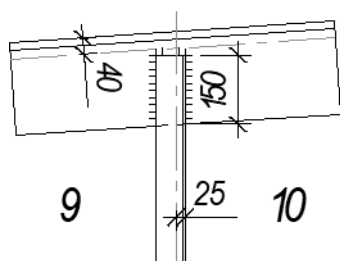
Верхній поясний вузол 9–10

У вузлі 9–10 з'єднуються елементи верхнього пояса з вертикальною стійкою. Верхній пояс прийнято з тавра Т20ШТ2, стійку — з двох рівнополічних кутиків 2 $\angle$ 80 $\times$ 7. Розрахунок виконується для зусилля у стійці: $N^{9-10} = -197,2$ кН.

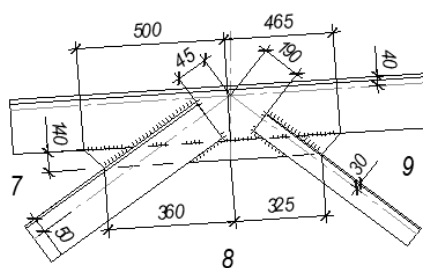
Таблиця 2.7— Розрахунок зварних швів вузла 9–10

Елемент розрахунку	Розрахункова залежність / дані	Результат	Прийнято
Елемент верхнього пояса	Т20ШТ2, $z_0 = 40$ мм	—	—
Елемент стійки	2 $\angle$ 80 $\times$ 7, $z_0 = 25$ мм	—	—
Розрахункове зусилля	N^{9-10}	197,2 кН	—
Коефіцієнт умов роботи	γ_c	0,8	—
Катет шва по перу	$k_f = \frac{N \cdot e_0}{b \cdot l_w \cdot R_{wf} \cdot \beta_f \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c}$	0,4 см	4 мм
Довжина шва по перу за металом шва	$l_w = \frac{197,2 \cdot 2,5}{2 \cdot 8 \cdot 0,4 \cdot 18 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,8} + 1$	8,6 см	90 мм
Довжина шва по перу за межею сплавлення	$l_w = \frac{197,2 \cdot 2,5}{2 \cdot 8 \cdot 0,4 \cdot 17,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8} + 1$	6,6 см	менше 8,6 см
Катет шва по обушку	$k_f = \frac{197,2(8 - 2,5)}{8 \cdot 8,6 \cdot 18 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,8}$	0,78 см	9 мм
Довжина шва по обушку за металом шва	$l_w = \frac{197,2(8 - 2,5)}{2 \cdot 8 \cdot 0,9 \cdot 18 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,8} + 1$	8,5 см	90 мм
Довжина шва по обушку за межею сплавлення	$l_w = \frac{197,2(8 - 2,5)}{2 \cdot 8 \cdot 0,9 \cdot 17,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8} + 1$	6,5 см	менше 9 см

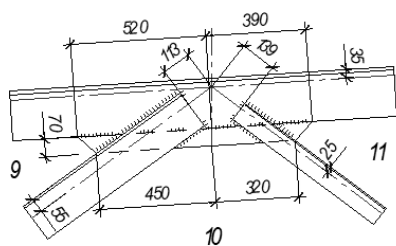
Для вузла 9–10 приймаються кутові шви: по перу — 90 мм, по обушку — 90 мм.



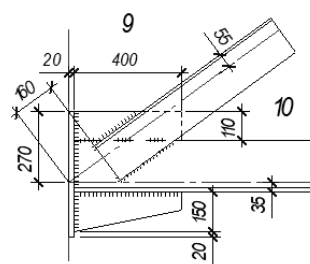
а)



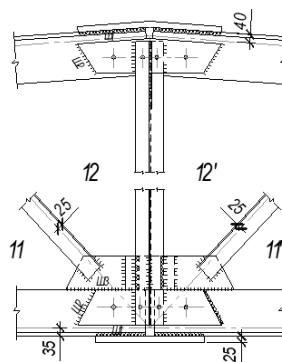
б)



с)



д)



е)

Рисунок 2.7 – Схема вузлів ферми: а - верхній поясний вузол 9-10; б - вузол верхнього пояса 7-8-9; с - вузол верхнього поясу 10-11-12; д - опорний вузол; е - кониковий вузол

Вузол верхнього пояса 7–8–9

У вузлі 7–8–9 виконується приєднання розкосів до верхнього пояса ферми. Верхній пояс прийнято з тавра Т20ШТ2, розкоси — з кутиків 2 $\angle$ 180 $\times$ 12 та 2 $\angle$ 110 $\times$ 8.

Таблиця 2.8 — Розрахунок швів вузла 7–8–9

Елемент	Зусилля N , кН	γ_c	Катет шва по перу	Довжина по перу за металом шва, см	Довжина по перу за межею сплавлення, см	Прийнята довжина по перу, мм	Катет шва по обушці, мм	Довжина по обушці за металом шва, см	Довжина по обушці за межею сплавлення, см	Прийнята довжина по обушці, мм
Розкіс 7–8, 2 $\angle$ 180 $\times$ 12	859,2	0,95	8	13,5	10,2	140	12	22,6	16,9	230
Розкіс 8–9, 2 $\angle$ 110 $\times$ 8	612,0	1,05	6	11,5	8,7	120	8	22,0	16,5	220

Для вузла 7–8–9 приймаються такі довжини швів: для розкосу 7–8 — 140 мм по перу та 230 мм по обушку; для розкосу 8–9 — 120 мм по перу та 220 мм по обушку.

Вузол верхнього пояса 10–11–12

У вузлі 10–11–12 розглядається приєднання розкосів до верхнього пояса. Верхній пояс прийнято з тавра Т20ШТ2, розкоси — з кутиків 2 $\angle$ 110 $\times$ 8 та 2 $\angle$ 80 $\times$ 7.

Таблиця 2.9 — Розрахунок швів вузла 10–11–12

Елемент	Зусилля N , кН	γ_c	Катет шва по перу, мм	Довжина по перу за металом шва, см	Довжина по перу за межею сплавлення, см	Прийнята довжина по перу, мм	Катет шва по обушку, мм	Довжина по обушку за металом шва, см	Довжина по обушку за межею сплавлення, см	Прийнята довжина по обушку, мм
Розкіс 10–11, 2 $\angle$ 110 $\times$ 8	346,9	0,8	6	8,8	6,8	90	12	11,4	8,7	120
Розкіс 11–12, 2 $\angle$ 80 $\times$ 7	29,3	0,8	5	11,8	8,9	120	12	10,9	7,3	120

Для вузла 10–11–12 приймаються шви: для розкосу 10–11 — 90 мм по перу та 120 мм по обушку; для розкосу 11–12 — 120 мм по перу та 120 мм по обушку.

Опорний вузол

Опорний вузол сприймає значне зусилля від опорного розкосу. Нижній пояс прийнято з тавра Т17.5ШТ3, розкіс — з кутиків 2 $\angle$ 180 $\times$ 12.

Таблиця 2.10 — Розрахунок швів опорного вузла

Елемент	Зусилля N , кН	γ_c	Катет шва по перу, мм	Довжина по перу за металом шва, см	Довжина по перу за межею сплавлення, см	Прийнята довжина по перу, мм	Катет шва по обушку, мм	Довжина по обушку за металом шва, см	Довжина по обушку за межею сплавлення, см	Прийнята довжина по обушку, мм
Опорний розкіс 7–8, 2 $\perp$ 180×12	859,2	0,95	8	13,5	10,2	140	12	22,6	16,9	230

Для опорного вузла приймається довжина шва по перу 140 мм, по обушку — 230 мм.

Кониковий вузол

Кониковий вузол розраховується окремо для верхньої та нижньої частини.

У розрахунку враховується перерозподіл зусилля між окремими швами.

Таблиця 2.11 — Розрахунок швів верхньої частини коникового вузла

Шов / елемент	Розрахункове зусилля	γ_c	Катет шва	Довжина за металом шва	Довжина за межею сплавлення	Прийнята довжина
Шов Ш1	$N = 1,2 \cdot 1250 = 1500\text{кН};$ $N_{\text{ш1}} = 0,65N = 975\text{кН}$	0,8	8 мм	31,2 см	23,3 см	320 мм
Шов Ш2	$N = 1,1 \cdot 1250 = 1375\text{кН};$ $N_{\text{ш2}} = 0,35N = 481\text{кН}$	0,8	14 мм	18,0 см	13,6 см	180 мм
Шов для 2 $\perp$ 63×5	$N = 1,2 \cdot 37,5/2 = 22,5\text{кН}$	1,05	6 мм	1,5 см	1,3 см	50 мм
Шов по обушку для 2 $\perp$ 63×5	$N = 22,5\text{кН}$	1,05	—	2,9 см	—	50 мм

Для верхньої частини коникового вузла приймаються шви довжиною 320 мм, 180 мм та 50 мм відповідно до типу з'єднання.

Таблиця 2.12 — Розрахунок швів нижньої частини коникового вузла

Шов / елемент	Розрахункове зусилля	γ_c	Катет шва	Довжина за металом шва	Довжина за межею сплавлення	Прийнята довжина
Шов Ш1	$N = 1,2 \cdot 1251 = 1501 \text{ кН}; N_{\text{ш1}} = 0,65N = 976 \text{ кН}$	1,05	8 мм	24,1 см	18,0 см	250 мм
Шов Ш2	$N = 1501 \text{ кН}; N_{\text{ш2}} = 0,35N = 525 \text{ кН}$	1,05	12 мм	17,5 см	13,2 см	180 мм
Шов Ш3	$N = 1,2 \cdot 29,3 = 35,2 \text{ кН}$	0,8	8 мм	5,4 см	4,2 см	60 мм
Шов для 2 $\perp$ 80 $\times$ 7 по перу	$N = 35,2 \text{ кН}$	0,8	5 мм	2,1 см	1,8 см	50 мм
Шов для 2 $\perp$ 80 $\times$ 7 по обушку	$N = 35,2 \text{ кН}$	0,8	12 мм	2,0 см	1,7 см	50 мм

Висновок: для нижньої частини коникового вузла приймаються зварні шви довжиною 250 мм, 180 мм, 60 мм і 50 мм залежно від типу з'єднаних елементів.

Таблиця 2.13 — Прийняті параметри зварних швів у вузлах ферми

Вузол ферми	Елемент	Тип шва	Катет шва, мм	Прийнята довжина шва, мм
Вузол 9–10	Стійка 9–10	по перу	4	90
Вузол 9–10	Стійка 9–10	по обушку	9	90
Вузол 7–8–9	Розкіс 7–8	по перу	8	140
Вузол 7–8–9	Розкіс 7–8	по обушку	12	230
Вузол 7–8–9	Розкіс 8–9	по перу	6	120
Вузол 7–8–9	Розкіс 8–9	по обушку	8	220
Вузол 10–11–12	Розкіс 10–11	по перу	6	90
Вузол 10–11–12	Розкіс 10–11	по обушку	12	120

Вузол 10–11–12	Розкіс 11–12	по перу	5	120
Вузол 10–11–12	Розкіс 11–12	по обушку	12	120
Опорний вузол	Опорний розкіс 7–8	по перу	8	140
Опорний вузол	Опорний розкіс 7–8	по обушку	12	230
Кониковий вузол, верхня частина	Шов Ш1	кутовий	8	320
Кониковий вузол, верхня частина	Шов Ш2	кутовий	14	180
Кониковий вузол, верхня частина	2 $\perp$ 63 $\times$ 5	кутовий	6	50
Кониковий вузол, нижня частина	Шов Ш1	кутовий	8	250
Кониковий вузол, нижня частина	Шов Ш2	кутовий	12	180
Кониковий вузол, нижня частина	Шов Ш3	кутовий	8	60
Кониковий вузол, нижня частина	2 $\perp$ 80 $\times$ 7	по перу	5	50
Кониковий вузол, нижня частина	2 $\perp$ 80 $\times$ 7	по обушку	12	50

За результатами розрахунку прийняті параметри зварних швів забезпечують необхідну несучу здатність вузлових з'єднань кроквяної ферми. Перевірки за металом шва та по межі сплавлення виконуються.

3.1 Розрахунок позацентрово стисненої колони крайнього ряду

Розрахунок колони крайнього ряду виконується як позацентрово стисненого залізобетонного елемента з урахуванням дії поздовжньої сили, згинального моменту, гнучкості елемента та впливу прогину на несучу здатність. Колона має змінний за висотою поперечний переріз, тому розрахунок виконується окремо для верхньої, середньої та нижньої частин.

Для проектування прийнято такі матеріали: бетон класу C25/30, поздовжня робоча арматура класу A400C, поперечне непряме армування з тонколистової сталі C235 товщиною 1,2 мм. Армування колони приймається симетричним.

Приведена призмova міцність бетону з урахуванням непрямого армування визначається за формулою:

$$R_{b,red}^* = R_b + \varphi \cdot \mu_{xy}^* \cdot R_{s,xy}, \quad (2.8)$$

де R_b — розрахунковий опір бетону осьовому стиску;

φ — коефіцієнт ефективності непрямого армування;

μ_{xy}^* — коефіцієнт непрямого армування тонкими пластинами;

$R_{s,xy}$ — розрахунковий опір сталі поперечного непрямого армування.

Таблиця 2.14 — Вихідні дані для розрахунку колони

№ з/п	Показник	Позначення	Значення
1	Клас бетону	—	C25/30
2	Клас поздовжньої арматури	—	A400C
3	Марка сталі поперечного непрямого армування	—	C235
4	Товщина тонколистової арматури	t	1,2 мм
5	Розрахунковий опір бетону осьовому стиску	R_b	17 МПа
6	Розрахунковий опір сталі непрямого армування	$R_{s,xy}$	230 МПа
7	Модуль пружності арматури	E_s	21000 кН/см ²
8	Модуль пружності бетону	E_b	2700 кН/см ²
9	Відношення модулів пружності	$\nu = E_s/E_b$	7,78

Таблиця 2.15 — Визначення приведеної призмovoї міцності бетону

Частина колони	Переріз, мм	Коефіцієнт непрямого армування μ_{xy}^*	Параметр ψ	Коефіцієнт ефективності φ	Приведена призмova міцність $R_{b,red}^*$
Верхня частина	400 × 400	$\frac{39^2 \cdot 0,12}{34^2 \cdot 20} = 0,008$	$\frac{0,008 \cdot 230}{11,5 + 10} = 0,09$	$\frac{1}{0,23 + 0,09} = 3,13$	$17 + 3,13 \cdot 0,008 \cdot 230 = 22,8 \text{ МПа}$
Середня частина	400 × 500	$\frac{39 \cdot 49 \cdot 0,12}{34 \cdot 44 \cdot 20} = 0,008$	0,09	3,13	22,8 МПа

Нижня частина	400 600	×	$\frac{39 \cdot 59 \cdot 0,12}{34 \cdot 54 \cdot 20} = 0,008$	0,09	3,13	22,8 МПа
---------------	------------	---	---	------	------	----------

Отже, для всіх розрахункових перерізів колони приведена призмova міцність бетону з урахуванням непрямого армування становить:

$$R_{b,red}^* = 22,8 \text{ МПа} = 2,28 \text{ кН/см}^2.$$

Розрахунок верхньої частини колони

Верхня частина колони має переріз 400 × 400 мм. Для розрахунку приймається найбільш несприятливе поєднання зусиль. Оскільки приведена гнучкість елемента перевищує граничне значення, у розрахунку враховується вплив прогину колони на її міцність.

Таблиця 2.16 — Розрахунок верхньої частини колони

Показник	Розрахункова залежність	Значення
Поздовжня сила	N_5	707 кН
Згинальний момент	M_5	146,8 кН·м
Додатковий момент	$M_{5e} = 707 \cdot 0,05$	35,4 кН·м
Розрахункова довжина	$l_0 = 2H = 2 \cdot 3,85$	7,7 м
Перевірка гнучкості	$l_0/h = 770/40$	19,25 > 14
Початковий ексцентриситет	$e_0 = M_5/N_5 = 146,8/707$	0,21 м = 21 см
Коефіцієнт тривалого навантаження	$\varphi_L = 1 + 35,4/146,8$	1,24
Відносний ексцентриситет	$\delta_1 = e_0/h = 21/40$	0,525
Додатковий параметр	$\delta_2 = 0,5 - 0,01 \cdot 770/40 - 0,01 \cdot 22,8$	0,08
Прийняте значення	$\delta = \delta_{max}$	0,525
Попередній коефіцієнт армування	μ	0,005
Критична сила	N_{cr}	1964 кН
Коефіцієнт впливу прогину	$\eta = \frac{1}{1 - N/N_{cr}}$	1,56
Розрахунковий ексцентриситет	$\eta e_0 = 1,56 \cdot 21$	32,8 см

Висота стиснутої зони	$x = N / (R_{b,red}^* b)$ $= 707 / (2,28 \cdot 40)$	7,75 см
Гранична висота стиснутої зони	$\xi_R h_0 = 0,594 \cdot 37$	21,9 см
Вид позацентрового стиску	$\xi_R h_0 > x$	великі ексцентриситети
Повний ексцентриситет	$e = \eta e_0 + h/2 - a$ $= 32,8 + 40/2 - 3$	49,8 см
Необхідна площа арматури	$A_s = A'_s$	9,3 см ²
Прийняте армування	4Ø18A400C	$A_s = 10,18 \text{ см}^2$

За результатами розрахунку для верхньої частини колони приймається симетричне армування: 4Ø18 A400C.

Розрахунок середньої частини колони

Середня частина колони має переріз 400×500 мм. Розрахунок виконується з урахуванням поздовжнього вигину, оскільки гнучкість елемента також перевищує граничне значення.

Таблиця 2.17 — Розрахунок середньої частини колони

Показник	Розрахункова залежність	Значення
Поздовжня сила	N_4	1099,5 кН
Згинальний момент	M_4	285,3 кН·м
Додатковий момент	$M_{4e} = 1099,5 \cdot 0,05$	54,98 кН·м
Розрахункова довжина	$l_0 = 1,5H = 1,5 \cdot 9,47$	14,2 м
Перевірка гнучкості	$l_0/h = 1420/50$	$28,4 > 14$
Початковий ексцентриситет	$e_0 = M_4/N_4 = 285,3 / 1099,5$	0,26 м = 26 см
Коефіцієнт тривалого навантаження	$\varphi_L = 1 + 54,98/285,3$	1,19
Відносний ексцентриситет	$\delta_1 = e_0/h = 26/50$	0,52
Додатковий параметр	$\delta_2 = 0,5 - 0,01 \cdot 1420/50 - 0,01 \cdot 22,8$	-0,012
Прийняте значення	$\delta = \delta_{max}$	0,52
Попередній коефіцієнт армування	μ	0,01
Критична сила	N_{cr}	1551 кН

Коефіцієнт впливу прогину	$\eta = \frac{1}{1 - N/N_{cr}}$	3,4
Розрахунковий ексцентриситет	$\eta e_0 = 3,4 \cdot 26$	88,4 см
Висота стиснутої зони	$x = N/(R_{b,red}^* b) = 1099,5 / (2,28 \cdot 40)$	12,06 см
Гранична висота стиснутої зони	$\xi_R h_0 = 0,594 \cdot 47$	27,92 см
Вид позацентрового стиску	$\xi_R h_0 > x$	великі ексцентриситети
Повний ексцентриситет	$e = \eta e_0 + h/2 - a = 88,4 + 50/2 - 3$	110,4 см
Необхідна площа арматури	$A_s = A'_s$	46,3 см ²
Прийняте армування	4Ø22 + 4Ø32A400C	$A_s = 47,372 \text{ см}^2$

Для середньої частини колони приймається армування:

$$4\text{Ø}22 \text{ A400C} + 4\text{Ø}32 \text{ A400C}.$$

Розрахунок нижньої частини колони

Нижня частина колони має переріз 400 × 600 мм. Через значну гнучкість елемента під час розрахунку також враховується вплив прогину при поздовжньому вигині.

Таблиця 2.18 — Розрахунок нижньої частини колони

Показник	Розрахункова залежність	Значення
Поздовжня сила	N_1	2829,5 кН
Згинальний момент	M_1	627,4 кН·м
Додатковий момент	$M_{1e} = 2829,5 \cdot 0,05$	141,5 кН·м
Розрахункова довжина	$l_0 = 1,5H = 1,5 \cdot 6,95$	10,4 м
Перевірка гнучкості	$l_0/h = 1040/60$	17,3 > 14
Початковий ексцентриситет	$e_0 = M_1/N_1 = 627,4 / 2829,5$	0,22 м = 22 см
Коефіцієнт тривалого навантаження	$\varphi_L = 1 + 141,5/627,4$	1,23
Відносний ексцентриситет	$\delta_1 = e_0/h = 22/60$	0,36

Додатковий параметр	$\delta_2 = 0,5 - 0,01 \cdot 1040/60 - 0,01 \cdot 22,8$	0,10
Прийняте значення	$\delta = \delta_{max}$	0,36
Попередній коефіцієнт армування	μ	0,005
Критична сила	N_{cr}	4185 кН
Коефіцієнт впливу прогину	$\eta = \frac{1}{1 - N/N_{cr}}$	3,1
Розрахунковий ексцентриситет	$\eta e_0 = 3,1 \cdot 22$	68,2 см
Висота стиснутої зони	$x = N/(R_{b,red}^* b)$ $= 2829,5 / (2,28 \cdot 40)$	31,0 см
Гранична висота стиснутої зони	$\xi_R h_0 = 0,594 \cdot 56$	33,3 см
Вид позацентрового стиску	$\xi_R h_0 > x$	великі ексцентриситети
Повний ексцентриситет	$e = \eta e_0 + h/2 - a$ $= 68,2 + 60/2 - 4$	94,2 см
Необхідна площа арматури	$A_s = A'_s$	77,9 см ²
Прийняте армування	8Ø36A400C	$A_s = 81,44 \text{ см}^2$

Для нижньої частини колони приймається армування: 8Ø36 A400C.

Таблиця 2.19 — Результати розрахунку позацентрово стисненої колони

Частина колони	Переріз, мм	Поздовжня сила, кН	Момент, кН·м	Необхідна площа арматури, см ²	Прийняте армування	Площа прийнятої арматури, см ²
Верхня	400 × 400	707,0	146,8	9,3	4Ø18 A400C	10,18
Середня	400 × 500	1099,5	285,3	46,3	4Ø22 + 4Ø32 A400C	47,372
Нижня	400 × 600	2829,5	627,4	77,9	8Ø36 A400C	81,44

Прийняте армування забезпечує несучу здатність усіх розрахункових ділянок колони за умовами позацентрового стиску з великими ексцентриситетами.

Розрахунок консолі колони

На кранову консоль колони крайнього ряду по осі Е діє зосереджене навантаження від власної ваги кранової балки та вертикального тиску мостового крана.

Таблиця 2.20 — Вихідні дані для розрахунку консолі

Показник	Позначення	Значення
Зосереджене навантаження від кранової балки та крана	Q_c	477,5 кН
Висота консолі	h	1300 мм
Виліт консолі	l_1	700 мм
Ширина консолі	b	600 мм
Відстань до точки прикладання сили	a	500 мм
Робоча висота перерізу	h_0	1260 мм
Ширина зони спирання кранової балки	l_{sup}	0,3 м
Розрахунковий опір бетону	R_b	17 МПа

Таблиця 2.21 — Перевірка міцності консолі

Показник	Розрахункова залежність	Значення
Кут нахилу стиснутої смуги	$\operatorname{tg} \theta = \frac{1,26 - 0,05}{0,05 + 0,6 \cdot 0,3}$	5,3
Кут нахилу	θ	79°
Синус кута	$\sin \theta$	0,982
Косинус кута	$\cos \theta$	0,191
Розрахункова довжина зони навантаження	$l_b = 0,3 \cdot 0,982 + 2 \cdot 0,05 \cdot 0,191$	0,31 м
Несуча здатність похилої стиснутої смуги	$0,8R_b b l_b \sin \theta$	2,48 МН
Умова міцності похилої смуги	$Q_c = 0,4775 \text{ МН} < 2,48 \text{ МН}$	виконується
Додаткова перевірка	$1,31 < 3,5R_b b h_0 = 3,18 \text{ МН}$	виконується
Напруження зминання під крановою балкою	$\sigma_{loc} = Q_c / (b \cdot l_{sup})$	2,65 МПа
Перевірка зминання	$2,65 < R_b = 17 \text{ МПа}$	виконується

Згинальний момент на межі примикання консолі	$M = Q_c \cdot a = 477,5 \cdot 0,5$	238,8 кН·м
Необхідна площа робочої арматури	$A_s = \frac{1,25M}{R_s(h_0 - a)}$	6,01 см ²
Прийняте армування	3Ø16A400C	$A_s = 6,033\text{см}^2$

Для армування кранової консолі приймається: 3Ø16 A400C.

Прийнята арматура забезпечує несучу здатність консолі за згином, а також виконання умов міцності похилої стиснутої смуги та відсутності зминання бетону під крановою балкою.

У результаті розрахунку встановлено, що всі розрахункові ділянки колони крайнього ряду працюють як позацентрово стиснені елементи у випадку великих ексцентриситетів. Для верхньої, середньої та нижньої частин колони підібрано симетричне поздовжнє армування, яке забезпечує необхідну несучу здатність.

Для кранової консолі виконано перевірку міцності похилої стиснутої смуги, перевірку зминання бетону під крановою балкою та підбір робочої арматури.

2.2 Розрахунок підземної частини виробничого цеху ливарного заводу

2.2.1. Вихідні данні

Розрахунок фундаменту виконується для колони крайнього ряду, яка сприймає дію поздовжньої сили, згинального моменту та поперечної сили. Такий характер навантаження зумовлює нерівномірний розподіл тиску під подошвою фундаменту, тому фундамент розглядається як позацентрово навантажений [9].

Для розрахунку приймаються такі зусилля у перерізі 1–1: $M = 627,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$; $N = 2829,5 + 137,2 = 2966,7 \text{ кН}$; $Q = 71,6 \text{ кН}$.

Розрахунковий опір ґрунту основи приймається: $R_0 = 215 \text{ кПа}$. Ґрунт основи представлений суглинками буро-сірувато-коричневого кольору, щільнопластичної консистенції. Прийняте значення розрахункового опору ґрунту визначене за матеріалами інженерно-геологічних вишукувань.

Для фундаменту приймаються такі матеріали: бетон класу C18/20; робоча арматура класу A400C.

Глибина закладання фундаменту визначається з урахуванням інженерно-геологічних умов майданчика, конструктивних особливостей будівлі та умов експлуатації. У проєкті приймається глибина закладання фундаменту: $H_f = 4,0 \text{ м}$.

2.2.2 Визначення розмірів фундаменту

Фундамент під колону приймається стаканного типу. Глибина защемлення колони у стакані фундаменту визначається залежно від висоти перерізу колони.

Глибина защемлення колони у стакані фундаменту повинна задовольняти умову: $h_{\text{зад}} \geq 0,5 + 0,33h_{\text{кол}}$.

Для колони з розміром перерізу: $h_{\text{кол}} = 0,6 \text{ м}$, маємо: $h_{\text{зад}} = 0,5 + 0,33 \times 0,6 = 0,7 \text{ м}$.

З урахуванням конструктивного запасу та шару замонолічування приймаємо: $h_{\text{зад}} = 0,75 \text{ м}$.

Глибина стакана фундаменту приймається: $h_{\text{ст}} = 0,8 \text{ м}$.

Загальна висота фундаменту та розміри фундаментної підшви приймаються кратними модулю 300 мм. Попередньо приймаємо висоту фундаменту: $h = 2,1$ м.

З урахуванням підготовчого шару товщиною 0,15 м загальна розрахункова глибина становить:

$$H = h + 0,15 = 2,1 + 0,15 = 2,25 \text{ м.}$$

Площа підшви фундаменту в першому наближенні визначається за формулою:

$$A = a \cdot b = \frac{1,1N}{\gamma_n(R_0 - \gamma_{cp}H)}. \quad (2.9)$$

Підставляємо числові значення:

$$A = \frac{1,1 \cdot 2966,7}{1,15(215 - 20 \cdot 2,25)} = 16,8 \text{ м}^2.$$

Співвідношення сторін фундаменту приймається: $\frac{a}{b} = 1,5 \leq 2$. Тоді: $A = a \cdot$

$$b = a \cdot 1,5a = 1,5a^2. \quad \text{Звідси: } a = \sqrt{\frac{16,9}{1,5}} = 3,3 \text{ м, } b = 1,5a = 1,5 \cdot 3,3 = 5,0 \text{ м.}$$

Остаточно приймаємо розміри фундаментної підшви: $a = 3,3$ м; $b = 5,0$ м; $A = 16,5 \text{ м}^2$.

2.2.3 Перевірка тиску під підшвою фундаменту

Для позацентрово навантаженого фундаменту необхідно перевірити максимальний, мінімальний і середній тиск під підшвою [8].

Згинальний момент з урахуванням поперечної сили визначається:

$$M_f = M + Q \cdot h. \quad (2.10)$$

$$M_f = 627,4 + 71,6 \cdot 2,1 = 777,8 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Момент опору підшви фундаменту:

$$W = \frac{b \cdot a^2}{6}. \quad (2.11)$$

$$W = \frac{3,3 \cdot 5^2}{6} = 13,75 \text{ м}^3.$$

Максимальний тиск під підшвою фундаменту:

$$P_{max} = \gamma_{cp}H + \frac{N}{\gamma_n A} + \frac{M_f}{W}. \quad (2.12)$$

$$P_{max} = 20 \cdot 2,25 + \frac{2966,7}{1,15 \cdot 16,5} + \frac{676}{13,75} = 250,6 \text{ кПа.}$$

Перевіряємо умову $P_{max} \leq 1,2R_0$. $250,6 < 1,2 \cdot 215 = 258 \text{ кПа}$. Умова виконується.

Мінімальний тиск під подошвою фундаменту:

$$P_{min} = \gamma_{cp}H + \frac{N}{\gamma_n A} - \frac{M_f}{W}. \quad (2.13)$$

$$P_{min} = 20 \cdot 2,25 + \frac{2966,7}{1,15 \cdot 16,5} - \frac{676}{13,75} = 152,2 \text{ кПа.}$$

Оскільки: $P_{min} > 0$, відрив підшви фундаменту від ґрунтової основи не відбувається.

Середній тиск під подошвою фундаменту:

$$P_{сер} = \frac{P_{max} + P_{min}}{2}. \quad (2.14)$$

$$P_{сер} = \frac{250,6 + 152,2}{2} = 201,4 \text{ кПа}$$

Перевіряємо умову: $P_{сер} \leq R_0$. $201,4 < 215 \text{ кПа}$. Умова виконується.

2.2.4 Конструювання фундаменту

За результатами розрахунку під колону крайнього ряду прийнято окремо розташований монолітний залізобетонний фундамент стаканного типу.

Фундамент проектується з бетону класу С18/20 із застосуванням робочої арматури класу А400С.

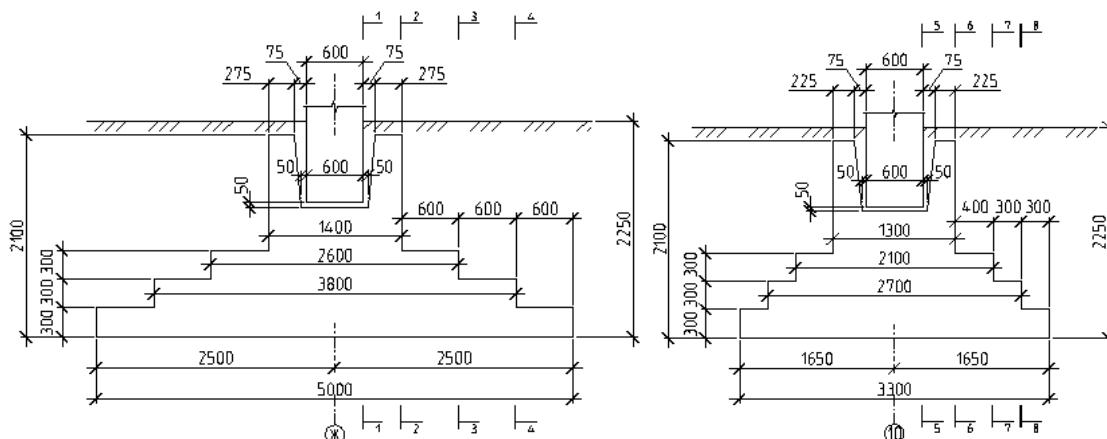


Рисунок 2.8 – Конструктивна схема фундаменту

2.2.5 Розрахунок армування підшви фундаменту

Розрахунок армування підшви фундаменту виконується за згинальними моментами, які виникають у характерних проєктних перерізах фундаментної плити від реактивного тиску ґрунту. Оскільки фундамент працює при позacentровому навантаженні, тиск під підшвою розподіляється нерівномірно [9].

Для розрахунку приймаємо: $P_{min} = 152,2$ кПа, $P_{max} = 250,6$ кПа, $P_{сер} = 201,4$ кПа.

Тиск ґрунту в окремих розрахункових перерізах визначається за лінійним законом розподілу:

$$P_i = \frac{(P_{max} - P_{min}) \cdot C_i}{b} + P_{min}. \quad (2.15)$$

Таблиця 2.22 — Тиск ґрунту в проєктних перерізах

Переріз	C_i , м	Розрахункова формула	Тиск P_i , кПа
1–1	2,8	$\frac{(250,6 - 152,2) \cdot 2,8}{5,0} + 152,2$	207,3
2–2	3,2	$\frac{(250,6 - 152,2) \cdot 3,2}{5,0} + 152,2$	215,2
3–3	3,8	$\frac{(250,6 - 152,2) \cdot 3,8}{5,0} + 152,2$	227,0
4–4	4,4	$\frac{(250,6 - 152,2) \cdot 4,4}{5,0} + 152,2$	238,8

Згинальні моменти в розрахункових перерізах визначаються за формулою:

$$M_i = a \cdot L_i^2 \cdot \frac{2P_{max} + P_i}{6}. \quad (2.16)$$

Таблиця 2.23 — Згинальні моменти в перерізах

Переріз	L_i , м	P_i , кПа	Розрахункова формула	Момент M_i , кН·м
1–1	2,2	207,3	$3,3 \cdot 2,2^2 \cdot \frac{2 \cdot 250,6 + 207,3}{6}$	1886,0
2–2	1,8	215,2	$3,3 \cdot 1,8^2 \cdot \frac{2 \cdot 250,6 + 215,2}{6}$	1276,6

3–3	1,2	227,0	$3,3 \cdot 1,2^2 \cdot \frac{2 \cdot 250,6 + 227,0}{6}$	576,7
4–4	0,6	238,8	$3,3 \cdot 0,6^2 \cdot \frac{2 \cdot 250,6 + 238,8}{6}$	146,5

Площа робочої арматури визначається за формулою:

$$A_s = \frac{M}{0,9 \cdot R_s \cdot h_0}. \quad (2.17)$$

Для арматури класу А400С приймається: $R_s = 36,5 \text{ кН/см}^2$.

Таблиця 2.24 — Підбір арматури в перерізах

Переріз	Момент M , кН·м	Робоча висота h_0 , см	Розрахункова формула	Необхідна площа A_s , см^2
1–1	1886,0	203	$\frac{188600}{0,9 \cdot 36,5 \cdot (210 - 7)}$	28,3
2–2	1276,6	83	$\frac{127660}{0,9 \cdot 36,5 \cdot (90 - 7)}$	46,8
3–3	576,7	53	$\frac{57670}{0,9 \cdot 36,5 \cdot (60 - 7)}$	33,1
4–4	146,5	23	$\frac{14650}{0,9 \cdot 36,5 \cdot (30 - 7)}$	19,4

Найбільш небезпечним є переріз 2–2, для якого потрібна площа арматури становить: $A_s = 46,8 \text{ см}^2$. Приймаємо робочу арматуру: 17Ø20 А400С. Площа прийнятої арматури: $\sum A_s = 17 \cdot 3,142 = 53,41 \text{ см}^2$. Крок стрижнів приймаємо: $s = 200 \text{ мм}$. Для другого напрямку армування приймаються такі відстані до розрахункових перерізів: $C_8 = 4400 \text{ мм}$; $L_8 = 600 \text{ мм}$, $C_7 = 3800 \text{ мм}$; $L_7 = 1200 \text{ мм}$; $C_5 = 2800 \text{ мм}$; $L_5 = 2200 \text{ мм}$; $C_6 = 3200 \text{ мм}$; $L_6 = 1800 \text{ мм}$. Згинальні моменти визначаються за формулою: $M_i = 0,125 \cdot P_{\text{сер}} \cdot a \cdot (b - b_i)^2$.

Таблиця 2.25 — Згинальні моменти в перерізах

Переріз	Розрахункова формула	Момент M_i , кН·м
5–5	$0,125 \cdot 201,4 \cdot 5 \cdot (3,3 - 0,6)^2$	917,6
6–6	$0,125 \cdot 201,4 \cdot 5 \cdot (3,3 - 1,3)^2$	503,5

7–7	$0,125 \cdot 201,4 \cdot 5 \cdot (3,3 - 2,1)^2$	181,3
8–8	$0,125 \cdot 201,4 \cdot 5 \cdot (3,3 - 2,7)^2$	45,3

Таблиця 2.26 — Підбір арматури в перерізах 5–5...8–8

Переріз	Момент M , кН·м	Робоча висота h_0 , см	Розрахункова формула	Необхідна площа A_s , см ²
5–5	917,6	202	$\frac{91760}{0,9 \cdot 36,5 \cdot (203 - 1)}$	13,8
6–6	503,5	82	$\frac{50350}{0,9 \cdot 36,5 \cdot (83 - 1)}$	18,7
7–7	181,3	52	$\frac{18130}{0,9 \cdot 36,5 \cdot (53 - 1)}$	10,6
8–8	45,3	22	$\frac{4530}{0,9 \cdot 36,5 \cdot (23 - 1)}$	6,3

Найбільш небезпечним у цьому напрямку також є переріз 2–2. Для армування приймаємо: 34Ø10 A400C. Площа прийнятої арматури: $\sum A_s = 34 \cdot 0,785 = 26,69 \text{ см}^2$. Крок стрижнів приймаємо: $s = 150 \text{ мм}$.

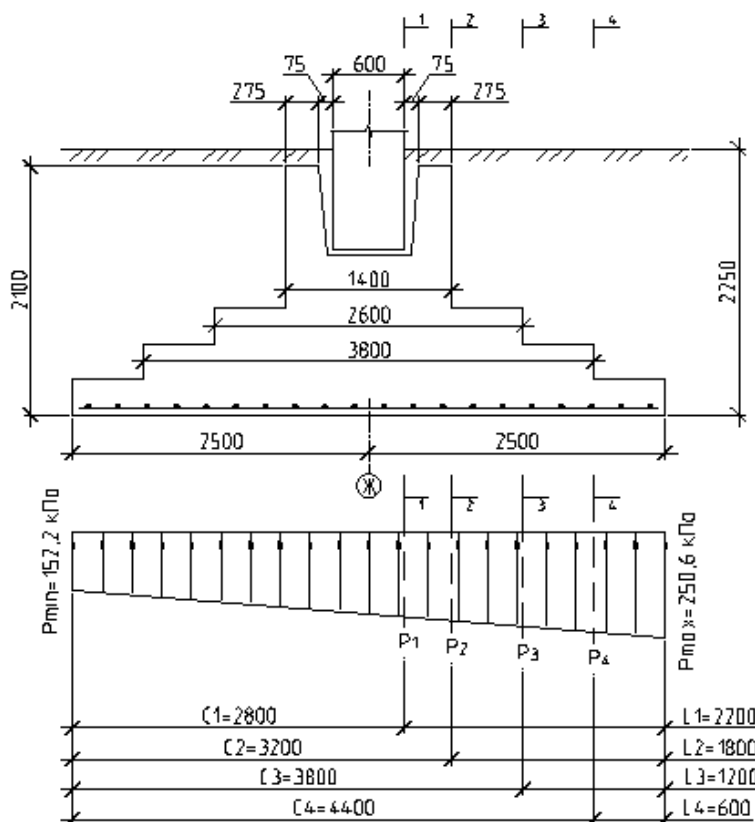


Рисунок 2.9 – Епюри розподілу напружень під подошвою фундаменту

2.2.6 Розрахунок поздовжньої вертикальної арматури

Розрахунок поздовжньої вертикальної арматури виконується з урахуванням дії поздовжньої сили та згинального моменту в перерізі 10–10.

Згинальний момент у перерізі:

$$M_{10-10} = M + Q \cdot h_{\text{ст}} = 627,4 + 71,6 \cdot 0,9 = 691,8 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Поздовжня сила з урахуванням власної ваги частини фундаменту:

$$N_{10-10} = 2966,7 + 1,1 \cdot (1,4 \cdot 1,3 \cdot 1,2) \cdot 25 = 3026,8 \text{ кН.}$$

Початковий ексцентриситет:

$$e_0 = \frac{M_{10-10}}{N_{10-10}} = \frac{691,8}{3026,8} = 0,23 \text{ м} = 23 \text{ см}$$

Розрахунковий ексцентриситет:

$$e = e_0 + \frac{h}{2} - a = 23 + \frac{225}{2} - 5 = 130,5 \text{ см.}$$

Перевіряємо положення нейтральної осі:

$$R_b \cdot b_f \cdot h'_f = 1,15 \cdot 130 \cdot 30 = 4485 \text{ кН.}$$

Оскільки: $4485 > 3026,8$, нейтральна вісь проходить у полиці перерізу.

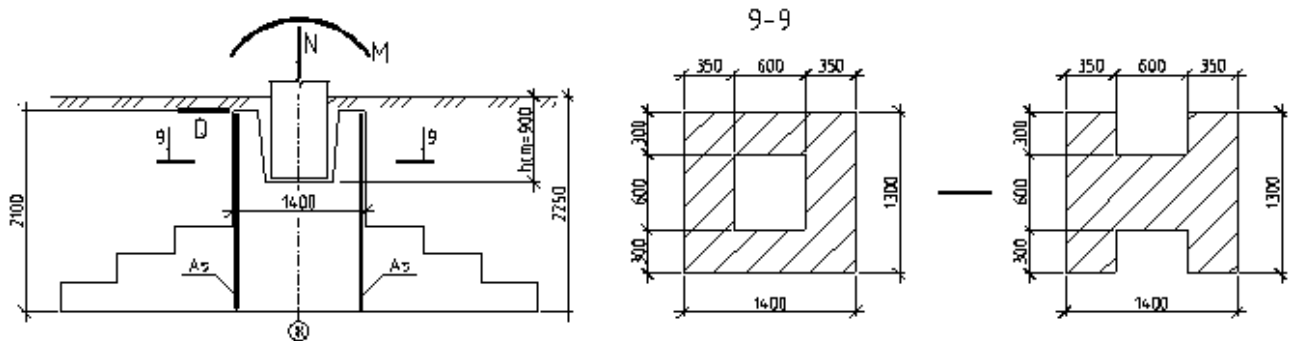


Рисунок 2.10 – Конструкція стакану

Висота стиснутої зони:

$$x = \frac{N}{R_b \cdot b} = \frac{3026,8}{1,15 \cdot 130} = 20,2 \text{ см.}$$

Необхідна площа арматури:

$$A_s = A'_s = \frac{3026,8 \left[130,5 - \left(135 - \frac{20,2}{2} \right) \right]}{36,5(135 - 5)} = -1,3 \text{ см}^2 < 0$$

Оскільки розрахункова площа арматури має від'ємне значення, армування приймається конструктивно за мінімальною площею:

$$A_s^{min} = 0,0005 \cdot b_f \cdot h = 0,0005 \cdot 140 \cdot 130 = 9,1 \text{ см}^2$$

$$\text{Приймаємо: } 6\emptyset 14 \text{ A400C } \Sigma A_s = 6 \cdot 1,539 = 9,23 \text{ см}^2.$$

2.2.7 Розрахунок поперечної арматури

Поперечна арматура стакана фундаменту призначена для забезпечення просторової жорсткості вузла з'єднання колони з фундаментом, а також для сприйняття зусиль, що виникають у стінках стакана під дією згинального моменту та поперечної сили.

Площа поперечної арматури визначається за формулою:

$$A_{sw} = \frac{M + Q \cdot h_{ct}}{R_{sw} \cdot \Sigma Z_{sw}}, \quad (2.16)$$

де M — згинальний момент у розрахунковому перерізі; Q — поперечна сила; h_{ct} — висота стакана фундаменту; R_{sw} — розрахунковий опір арматури; ΣZ_{sw} — сума відстаней від дна стакана до кожної нижньої сітки.

Згинальний момент з урахуванням дії поперечної сили:

$$M + Q \cdot h_{ct} = 627,4 + 71,6 \cdot 0,9 = 691,8 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Сума відстаней до поперечних сіток:

$$\Sigma Z_{sw} = 5 + 20 + 35 + 50 + 65 = 175 \text{ см} = 1,75 \text{ м}.$$

Необхідна площа поперечної арматури:

$$A_{sw} = \frac{691,8}{36,5 \cdot 1,75} = 10,8 \text{ см}^2.$$

Приймаємо поперечну арматуру: $4\emptyset 20 \text{ A400C}$. Площа прийнятої арматури: $\Sigma A_s = 12,6 \text{ см}^2$. Оскільки: $12,6 > 10,8$, прийнята площа поперечної арматури є достатньою.

РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

3.1 Технологічна карта

Технологічна карта розроблена на виконання будівельно-монтажних робіт під час зведення виробничого цеху ливарного заводу. Вона визначає раціональну послідовність виконання робіт, склад будівельних процесів, необхідні машини та механізми, вимоги до якості, охорони праці та організації робочого місця.

Основною метою технологічної карти є забезпечення безпечного, якісного та своєчасного виконання робіт із влаштування монолітних залізобетонних конструкцій і монтажу збірних елементів каркаса будівлі. До складу робіт входять підготовчі процеси, монтаж опалубки, встановлення арматурних каркасів, бетонування конструкцій, догляд за бетоном, демонтаж опалубки, а також монтаж збірних залізобетонних і металевих елементів [10].

3.1.1 Зведення монолітних залізобетонних колон

Зведення монолітних залізобетонних колон виробничого цеху ливарного заводу передбачається виконувати із застосуванням розсувної опалубки типу PERI. Така опалубка є доцільною для бетонування вертикальних елементів із постійним, змінним або ступінчастим поперечним перерізом. Її використання забезпечує безперервність процесу бетонування, скорочення тривалості робіт та підвищення якості поверхні конструкцій [12].

Основним принципом виконання робіт у розсувній опалубці є рівномірне переміщення опалубної системи вгору відповідно до темпу укладання та тверднення бетонної суміші. Піднімання опалубки здійснюється електромеханічними домкратами, які встановлюються на домкратних стрижнях. Орієнтовна швидкість бетонування колон становить близько 3 м за добу.

До складу розсувної опалубки входять щити, домкратні рами, робочий настил, підмості, домкрати та домкратні стрижні. Основним несучим елементом є домкратна рама, яка сприймає навантаження від тиску бетонної суміші,

робочого настилу, підвісних риштувань та елементів опалубки. Щити опалубки закріплюються на рамах і встановлюються з незначним нахилом до вертикальної осі конструкції для забезпечення якісного формування поверхні колони [13].

Монтаж розсувної опалубки виконується у такій послідовності: складання щитів за проєктним контуром колони, встановлення домкратних рам, монтаж робочого настилу, улаштування зовнішніх риштувань і захисних огорожень, встановлення домкратних стрижнів та монтаж вантажопідіймального обладнання. Після завершення монтажу перевіряють правильність положення щитів, рівність ригелів домкратних рам, вертикальність опалубки та надійність усіх з'єднань [14].

Перед початком основного бетонування опалубку заповнюють бетонною сумішшю на висоту 0,6–0,7 м і витримують протягом часу, визначеного будівельною лабораторією. Після цього виконують пробний підйом. Якщо бетонна суміш зберігає форму і не деформується, процес бетонування та піднімання опалубки продовжують у безперервному режимі.

Подача бетонної суміші до місця укладання здійснюється за допомогою бетононасоса Putzmeister P 715 TD з дизельним приводом.



Максимальна продуктивність	20 м³/год
Максимальний тиск подачі	68 бар
Максимальна крупність заповнювача	16 мм
Максимальна висота подачі	60 м
Максимальна горизонтальна дальність подачі	80 м
Діаметр циліндра	150 мм
Хід поршня	700 мм
Потужність дизельного двигуна	34,5 кВт
Габарити, Д × Ш × В	4200 × 1510 × 1600 мм
Маса	1900 кг

Рисунок 3.1 – Бетононасоса Putzmeister P 715 TD

Для транспортування бетонопроводами застосовується бетонна суміш з осадкою конуса близько 8 см, водоцементним відношенням 0,6 та максимальною крупністю заповнювача до 16 мм. Для поліпшення рухливості суміші та зменшення витрати води допускається застосування пластифікатора.

Під час бетонування необхідно постійно контролювати горизонтальність робочого настилу, рівномірність підйому опалубки та стан домкратних стрижнів. У разі перекосу робочої платформи або деформації домкратних тяг роботи зупиняють до усунення дефектів. Ущільнення бетонної суміші виконується вібраторами, закріпленими на панелях опалубки. Для забезпечення монолітності колон бетонування організовується безперервно, у три зміни.

Демонтаж опалубки дозволяється виконувати лише після досягнення бетоном необхідної міцності. Перед демонтажем навантаження з домкратів знімають, опалубку тимчасово спирають на зведену конструкцію, після чого розбирають домкратні тяги, підйомне обладнання, робочий настил і щити [14].

Вибір опалубки

Для зведення монолітних залізобетонних колон прийнято розсувну опалубку типу PERI.



Рисунок 3.2 – Щитова опалубка TRIO [13]

Її застосування дає змогу забезпечити необхідний темп бетонування, зменшити трудомісткість робіт і підвищити якість виконання вертикальних конструкцій. Для виконання робіт передбачено використання чотирьох комплектів опалубки [13].

Монтажний кран застосовується для подачі опалубки, арматурних каркасів, фахверкових колон, кранових балок, ферм, елементів ліхтаря, стінових панелей та плит покриття. Вибір крана виконується за найбільш важким та найбільш високо розташованим монтажним елементом [15]. У даному випадку таким елементом є збірна ребриста залізобетонна плита покриття масою 8,5 т.

Під час вибору самохідного стрілового крана одним із основних параметрів є монтажна висота. Для проєктованої будівлі вирішальним є монтаж ребристої залізобетонної плити покриття, оскільки цей елемент встановлюється на найбільшій відмітці.

Монтажна висота визначається за формулою [15]:

$$H=h_0+h_3+h_c+h_e \quad (3.1)$$

де h_0 — висота опори, на яку встановлюється монтажний елемент, м;

h_3 — запас висоти під час наведення елемента перед опусканням у проєктне положення, приймається не менше 0,5 м;

h_c — розрахункова висота вантажозахоплювального пристрою, м;

h_e — висота елемента у монтажному положенні, м.

Для монтажу плити покриття приймаємо:

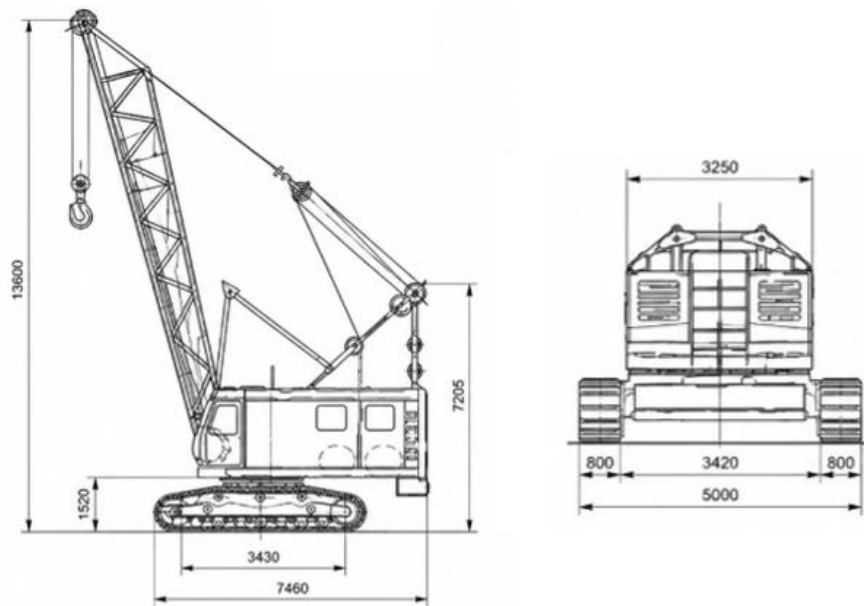
$$H=27,8+0,5+1,5+0,3=30 \text{ м.}$$

Отже, необхідна монтажна висота крана становить приблизно 30 м.

Монтажний виліт стріли визначається графічним способом для кожного елемента, що монтується. У даному проєкті найбільший виліт стріли виникає під час монтажу ребристої залізобетонної плити покриття. За результатами графічної побудови прийнято: $L=20,5$ м.

Таким чином, для монтажу конструкцій виробничого цеху необхідно застосувати кран, який забезпечує підйом елемента масою 8,5 т на висоту близько 30 м при вильоті стріли 20,5 м.

Для виконання монтажних робіт приймається самохідний гусеничний стріловий кран СКГ-50. Його технічні параметри забезпечують можливість монтажу плит покриття, ферм, кранових балок та інших елементів каркаса виробничої будівлі [15].



довжина стріли — 40 м, з додатковою вставкою 10 м;
 вантажопідйомність при найменшому вильоті — 15 т;
 вантажопідйомність при найбільшому вильоті — 2,6 т;
 мінімальний виліт стріли — 10 м;
 максимальний виліт стріли — 34 м;
 висота підйому гака при мінімальному вильоті — 38,6 м;
 висота підйому гака при максимальному вильоті — 23,4 м;
 габарити крана: довжина — 7,52 м, ширина — 5,0 м, висота — 6,9 м.

Рисунок 3.3 – Стріловий кран СКГ-50 та його характеристики

3.1.2 Монтаж залізобетонних і металевих збірних колон

Монтаж збірних залізобетонних і металевих колон є одним із відповідальних етапів зведення каркаса виробничої будівлі. Якість виконання цих робіт безпосередньо впливає на просторову жорсткість споруди, точність подальшого монтажу кранових балок, ферм, плит покриття та огорожувальних конструкцій.

Стропування збірних залізобетонних колон виконують за допомогою стропів, траверс або спеціальних захватних пристроїв. Захвати повинні забезпечувати надійне утримання конструкції під час підйому, переміщення та встановлення її у проєктне положення. Важливою вимогою до таких пристроїв є можливість швидкого та безпечного від'єднання після закріплення колони.

Найбільш зручними для цього є напівавтоматичні захвати, які дозволяють виконувати розструповання з рівня землі або з кабіни кранівника.

Для залізобетонних колон можуть застосовуватися як петльові, так і безпетльові способи стропування. Петльове стропування здійснюється за монтажні петлі, передбачені у конструкції під час її виготовлення. Однак такий спосіб потребує додаткової витрати арматурної сталі. Більш раціональним рішенням є використання безпетльових захватів, зокрема фрикційних, опорних, клинових, гвинтових або напівавтоматичних пристроїв.

Під час монтажу залізобетонних колон із консолями доцільно використовувати напівавтоматичні траверси, які забезпечують вертикальне положення елемента під час підйому та встановлення. Після монтажу і тимчасового закріплення колони захват від'єднують за допомогою спеціального каната або дистанційного механізму.

Монтаж колон виконується у визначеній технологічній послідовності. Першими встановлюють колони в'язевої панелі або ті елементи, які забезпечують стійкість змонтованої частини каркаса. Конструкції повинні подаватися до місця монтажу у такому порядку, щоб їх можна було встановлювати без додаткового складування та зайвого переміщення на будівельному майданчику.

Перед установленням колон необхідно підготувати опорні поверхні фундаментів. Для забезпечення точності монтажу поверхні стаканів або опорних плит вирівнюють до проектної відмітки розчином або підготовчими прокладками. Торці колон і опорні поверхні повинні мати необхідну точність виготовлення та відповідати проектним вимогам.

Після подачі колони краном її встановлюють у стакан фундаменту або на опорну плиту, суміщаючи осьові риски на колоні з відповідними рисками на фундаменті. Правильність положення перевіряють за допомогою геодезичних приладів і контрольних вимірювань. До остаточного закріплення колону тимчасово фіксують клинами, розкосами, розпівками або монтажними

пристроями. Колони значної висоти та маси додатково закріплюють розчалками або жорсткими підкосами для забезпечення їх стійкості.

Металеві колони стропують за спеціальні монтажні отвори, стропні планки, фасонки або шляхом обв'язування. Для легких сталевих колон можуть застосовуватися захвати з кронштейном і штифтом, який після встановлення елемента витягується за допомогою каната. Більш ефективним є використання замкових або напівавтоматичних захватів, які забезпечують швидке від'єднання стропа після монтажу.

Під час встановлення сталевої колони на фундамент її направляють на анкерні болти, після чого суміщають осьові риски на колоні з рисками на фундаментній плиті. Після вивірення вертикальності та положення у плані колону закріплюють гайками. Для запобігання самовідкручуванню гайок після остаточного затягування застосовують контргайки або прихватку електрозварюванням.

У процесі монтажу необхідно постійно контролювати правильність стропування, справність вантажозахоплювальних пристроїв, точність встановлення колон, надійність тимчасового закріплення та дотримання вимог безпеки праці. Розстропування колон дозволяється виконувати тільки після їх надійної фіксації у проєктному положенні.

3.1.3 Монтаж сталевих підкранових конструкцій

Металоконструкції стропуються за спеціально влаштовані стропувальні накладки, фасонки, отвори, а також шляхом обв'язки.

Для стропування балок використовуються напівавтоматичні універсальні захвати. Напівавтоматичні універсальні захвати використовуються для стропування колон. Особливість їх роботи в тому, що відстібання конструкцій відбувається автоматично, воно здійснюється кранівником прямо з кабіни крана. Конструкція захватів заснована на принципі автоматичного відключення стропувальних пристроїв від вантажу за рахунок відкриття рухомої осі (пальця). Найбільшого поширення набуло напівавтоматичне захоплення за допомогою

електромагніту. Захват складається з двох металевих трикутних щік, кожна з яких має три отвори: верхня призначена для осі кріплення захвату до траверси або гака крана, дві нижні - для рухомого і нерухомого пальців. Магніт з'єднується через важіль з рухомим пальцем, який утримується в щоках рукоятки пружиною.

Принцип роботи захвату полягає в наступному. При відключенні струму рухомий палець з попередньо надітим на нього кільцем стропа утримують в щоках за допомогою пружини. У такому положенні вантаж піднімається.

Для відстібання необхідно зняти навантаження з стропа, тобто опустити вантаж на будь-яку опору і замкнути ланцюг. При цьому якір електромагніту втягується в котушку і через важіль знімає палець з щік, в результаті чого кінець стропа звільняється від захвату.

Проводка кабелю до захвату монтується на стрілі, а пускове обладнання з понижуючим трансформатором монтується в кабіні крана. Види стропів і способи стропування такими захватами визначаються в залежності від типу конструкції, що монтується.

Кранові балки спираються на колони через кранові консолі.

В процесі монтажу балки націлені на центральні осі, прикладені до колонних консолей. Правильність відмітки верхньої кранової балки перевіряється рівнем.

Гальмівні балки доставляються на будівельний майданчик у вигляді окремих елементів. Щоб уникнути монтажних робіт на висоті, перед підйомом укрупнюють кранову балку та гальмівну ферму.

Кранові рейки укладають з особливою точністю, узгоджуючи їх після остаточної установки і кріплення кранових балок. При цьому одна нитка рейок перевіряється в плані за допомогою теодоліта і схилу, а друга нитка (на паралельній кран-балці) звіряється з прив'язкою в плані до першої. Сучасні конструкції кріплення рейок до кранової балки передбачають можливість їх рихтування при вивірці [10, 14].

3.1.4 Монтаж кроквяних ферм

Монтаж кроквяних ферм є відповідальним етапом зведення металевого каркаса будівлі, оскільки від правильності виконання цих робіт залежить просторова жорсткість і надійність покриття. Перед початком підйому ферми необхідно перевірити її технічний стан, відповідність проєктним розмірам, наявність монтажних отворів, стропувальних елементів та місць для тимчасового закріплення.

Стропування металевих конструкцій виконують у спеціально передбачених місцях: за монтажні накладки, отвори, фаски або шляхом обв'язування конструкції стропами. Під час підйому сталевих ферм прольотом 24 м стропи закріплюють не менше ніж у двох симетрично розташованих вузлах верхнього пояса, переважно ближче до опорних частин. Таке розташування строп ближче до опорних частин. Таке розташування точок стропування дозволяє рівномірно розподілити навантаження та зменшити додаткові зусилля в елементах ферми під час її переміщення.

Перед монтажем необхідно враховувати, що під час підйому в окремих елементах ферми можуть виникати зусилля, які відрізняються від тих, що діють у проєктному положенні. Зокрема, елементи, які в експлуатаційному стані працюють на розтяг, під час підйому можуть зазнавати стиску. Для запобігання втраті стійкості таких елементів перед кантовкою або підйомом виконують їх тимчасове підсилення. Найчастіше підсилюють стійки, а також окремі ділянки верхнього і нижнього поясів ферми.

Тимчасове підсилення здійснюють за допомогою металевих пластин, ребер жорсткості або інших допоміжних деталей, які прикріплюють до елементів ферми болтами, скобами чи скрутками з відпаленого дроту. Після встановлення ферми в проєктне положення, її закріплення прогонами та в'язями ці підсилювальні елементи демонтують.

Для підйому кроквяних ферм застосовують спеціальні траверси. Вони можуть мати вигляд горизонтальних балок або легких гратчастих конструкцій із підвісними стропами. Використання траверс дає змогу підвішувати ферму в

кількох точках, зменшувати кут нахилу стропів, рівномірніше передавати навантаження на конструкцію та підвищувати безпеку монтажу. Крім того, траверси дозволяють зменшити додаткові монтажні зусилля у фермі, що в окремих випадках дає змогу скоротити обсяг тимчасового підсилення.

Монтаж ферм виконують послідовно. Першу ферму після встановлення в проєктне положення тимчасово закріплюють за допомогою розчалок або скоб, які приєднують до вузлів верхнього пояса. Особливу увагу приділяють перевірці вертикальності та правильності розташування ферми відносно осей будівлі. Друга ферма після встановлення з'єднується з першою за допомогою проєктних елементів, розпірок і в'язей. Наступні ферми монтують аналогічно, послідовно приєднуючи їх до вже закріплених конструкцій.

Тимчасове кріплення ферм знімають лише після остаточного закріплення конструкцій до колон проєктними болтами, встановлення необхідних розпірок, прогонів і не менше двох-трьох вертикальних в'язей [10, 11, 14].

3.1.5 Монтаж ребристих залізобетонних плит

Монтаж ребристих залізобетонних плит є одним із важливих етапів улаштування покриття будівлі. Якість виконання цих робіт впливає на надійність несучих конструкцій, просторову жорсткість каркаса та безпеку подальшої експлуатації об'єкта. Перед початком монтажу необхідно перевірити стан плит, наявність монтажних петель або отворів для стропування, а також відповідність конструкцій проєктним розмірам.

Стропування збірних залізобетонних елементів виконують за допомогою стропів, траверс або спеціальних захватних пристроїв. Плити покриття, як правило, стропують чотиригілковим стропом або траверсою, закріплюючи їх у передбачених проєктом монтажних точках. Стропування повинно забезпечувати рівномірне передавання навантаження на всі точки підвісу та запобігати виникненню небезпечних монтажних напружень у плиті під час її підйому і переміщення.

Для ребристих залізобетонних плит стропування зазвичай виконують не менше ніж у чотирьох точках. У разі монтажу великогабаритних плит застосовують спеціальні траверсні або балочні захватні пристрої зі збільшеною кількістю точок підвісу. Це дозволяє зменшити згинальні зусилля в елементах під час підйому, забезпечити їх стійке положення в просторі та підвищити безпеку монтажних робіт.

Для піднімання великорозмірних залізобетонних плит можуть використовуватися універсальні просторові траверси або балансувальні стропи. Такі пристрої дають змогу рівномірно розподілити навантаження між окремими гілками стропів, зменшити перекоси конструкції та забезпечити її плавне переміщення краном до місця встановлення.

Універсальна траверса складається з несучих балок, з'єднаних між собою елементами, що дозволяють змінювати відстань між ними залежно від ширини плити. До балок кріпляться канати, блоки та гаки, за допомогою яких здійснюється підвішування конструкції. Завдяки такій будові траверса може застосовуватися для монтажу плит різних розмірів і забезпечує більш надійне утримання елемента під час підйому.

Балансувальні стропи застосовують для рівномірного натягу канатів і розподілу навантаження між усіма точками захвату. Їх використання особливо доцільне під час монтажу великогабаритних плит, а також у випадках, коли елементи транспортувалися у вертикальному або похилому положенні. За допомогою балансувальних пристроїв плиту можна обережно перевести в горизонтальне положення без різких ривків і небезпечних перекосів.

Укладання залізобетонних плит на кроквяні ферми необхідно виконувати у визначеній технологічній послідовності. Якщо ферми мають ліхтарі, монтаж плит слід здійснювати симетрично: спочатку вздовж поясів ферм, а потім у зоні ліхтаря. Такий порядок забезпечує поступове зменшення вільної довжини верхнього пояса ферми та запобігає втраті його стійкості.

Недопустимо виконувати укладання плит лише з одного боку ферми або ліхтаря, оскільки це може призвести до нерівномірного навантаження

конструкції. У такому випадку незакріплена частина верхнього пояса може втратити стійкість під дією зростаючого навантаження від уже змонтованих плит. Тому під час монтажу необхідно дотримуватися симетричності укладання, контролювати положення кожної плити та своєчасно виконувати її проєктне закріплення.

Після встановлення плити в проєктне положення перевіряють правильність її спираючості, відповідність монтажних зазорів і положення відносно осей будівлі. Остаточне закріплення плит виконують відповідно до проєктних рішень [10, 16].

3.1.6 Монтаж світлоаераційних ліхтарів

Перед початком монтажу перевіряють комплектність елементів ліхтаря, стан металоконструкцій, наявність монтажних отворів, стропувальних накладок, місць кріплення та відповідність конструкцій проєктним розмірам. Особливу увагу приділяють якості зварних і болтових з'єднань, оскільки від цього залежить жорсткість просторового блока та його стійкість під час підйому.

Стропування металевих елементів світлоаераційних ліхтарів виконують у спеціально передбачених місцях. Для цього використовують стропувальні накладки, монтажні отвори, фаски або обв'язування конструкції стропами. Спосіб стропування повинен забезпечувати надійне утримання блока, рівномірний розподіл навантаження між точками підвісу та недопущення перекосу конструкції під час її переміщення краном.

Монтаж світлоаераційних ліхтарів доцільно виконувати укрупненими просторовими блоками. Такий спосіб дозволяє скоротити кількість монтажних операцій на висоті, підвищити точність встановлення конструкцій і зменшити тривалість виконання робіт. Просторовий блок попередньо збирають на монтажному майданчику або в зоні дії крана, після чого його піднімають і встановлюють у проєктне положення на кроквяні ферми.

Для підйому блока світлоаераційного ліхтаря застосовують спеціальні траверси. Вони можуть мати вигляд горизонтальних балок або трикутних

гратчастих конструкцій із підвісними стропами. Використання траверс дає змогу підвішувати конструкцію в кількох точках, забезпечувати рівномірне передавання навантаження на стропи та зменшувати додаткові зусилля, які виникають у металоконструкціях під дією власної ваги під час підйому.

Балкові траверси можуть бути суцільними або гратчастими. Універсальні гратчасті траверси трубчастого типу складаються з траверсної балки, підвісного блока та системи канатів. Траверсна балка, як правило, формується з кінцевих і проміжних секцій, які з'єднуються між собою болтами. Така конструкція дає можливість змінювати довжину траверси залежно від розмірів елемента, що монтується.

Застосування траверс під час монтажу світлоаераційних ліхтарів має низку переваг. Вони дозволяють зменшити нахил стропів, скоротити їх довжину, знизити діаметр канатів, прискорити процес стропування та підвищити безпеку переміщення блока. Крім того, за рахунок рівномірного розподілу навантаження зменшуються монтажні напруження в елементах конструкції, що в окремих випадках дозволяє обмежити або не застосовувати тимчасове підсилення.

Після підйому просторовий блок світлоаераційного ліхтаря плавно подають до місця встановлення та орієнтують відповідно до проєктного положення. Монтажники контролюють правильність його спирання на кроквяні ферми, суміщення монтажних отворів і відповідність положення блока осям будівлі. Остаточне закріплення виконують за допомогою проєктних болтових або зварних з'єднань.

У більшості випадків просторовий блок світлоаераційного ліхтаря після встановлення на ферми не потребує складного тимчасового кріплення, оскільки він має достатню жорсткість і просторову стійкість. Однак до моменту остаточного закріплення конструкції необхідно контролювати її положення та не допускати дії випадкових навантажень, які можуть спричинити зміщення блока [16].

3.2 Розроблення лінійного графіка спеціалізованого потоку

Для організації монтажу конструкцій покриття будівлі приймається потоковий метод виконання робіт. Згідно з положеннями потокової організації будівельно-монтажних робіт, цей метод передбачає поділ об'єкта на окремі захватки та розчленування складного будівельного процесу на прості складові, які виконуються спеціалізованими ланками з ув'язкою у просторі й часі [10].

Монтажний фронт робіт умовно поділяється на чотири захватки. За захватку приймається частина будівлі в межах окремої монтажної ділянки, у якій послідовно виконуються всі основні процеси з улаштування конструкцій покриття. Захватки приймаються приблизно однаковими за обсягом і трудомісткістю робіт, що забезпечує ритмічність виконання спеціалізованого потоку.

До складу спеціалізованого потоку включаються такі елементарні процеси: А — монтаж кроквяних ферм; Б — встановлення в'язей, прогонів та остаточна вивірка ферм; В — монтаж ребристих залізобетонних плит покриття; Г — монтаж світлоаераційних ліхтарів.

Приймається рівноритмічний спеціалізований потік, за якого тривалість виконання кожного процесу на одній захватці становить одну робочу зміну. Роботи виконуються в одну зміну. Технологічна перерва між процесами не передбачається, оскільки наступний процес починається після завершення попереднього на відповідній захватці та перевірки правильності встановлення конструкцій [10].

Вихідні дані для розрахунку: $m = 4$ — кількість захваток; $n = 4$ — кількість елементарних процесів; $k = 1$ зміна — ритм потоку; $A = 1$ — змінність робіт; $t_{\text{тп}} = 0$ — технологічна перерва.

Загальна тривалість рівноритмічного спеціалізованого потоку визначається за формулою:

$$T_6 = 1 / A \cdot [k \cdot (m + n - 1) + t_{\text{тп}}], \quad (3.2)$$

де T_6 — загальна тривалість виконання робіт, дні;

A — змінність робіт;

k — ритм потоку, зміни; m — кількість захваток;

n — кількість елементарних процесів;

t_{III} — технологічна перерва.

Підставляємо прийняті значення: $T_6 = 1 / 1 \cdot [1 \cdot (4 + 4 - 1) + 0] = 7$ днів.

Отже, тривалість виконання спеціалізованого потоку з монтажу конструкцій покриття становить 7 робочих днів.

3.3 Рішення щодо безпечного виконання робіт та потивопожежної безпеки виконання робіт

Безпечне виконання будівельно-монтажних робіт є обов'язковою умовою організації будівельного виробництва. Під час монтажу кроквяних ферм, ребристих залізобетонних плит покриття та світлоаераційних ліхтарів необхідно дотримуватися вимог охорони праці, правил експлуатації вантажопідіймальних механізмів і норм пожежної безпеки [17-19].

До виконання монтажних робіт допускаються працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці, мають відповідну кваліфікацію та забезпечені засобами індивідуального захисту. Робітники повинні використовувати каски, спецодяг, захисне взуття, рукавиці, а під час роботи на висоті — запобіжні пояси або інші страхувальні засоби.

Перед початком робіт будівельний майданчик очищають від зайвих матеріалів і сміття, а зони роботи крана, складування конструкцій, проходи та проїзди позначають на будівельному генеральному плані. Небезпечні зони, пов'язані з переміщенням вантажів і виконанням робіт на висоті, необхідно огорожувати та позначати попереджувальними знаками.

Особливу увагу слід приділяти безпеці під час роботи монтажного крана. Стропи, траверси, захвати та інші вантажозахватні пристрої перед використанням перевіряють. Забороняється застосовувати пошкоджене або несправне оснащення. Стропування конструкцій виконують тільки у передбачених місцях: за монтажні петлі, отвори, стропувальні накладки або інші елементи, визначені проєктом [17].

Під час підйому і переміщення конструкцій забороняється перебування людей під вантажем або в зоні його можливого падіння. Переміщення ферм, плит і блоків ліхтарів повинно виконуватися плавно, без ривків. Команди машиністу крана подає лише відповідальна особа або призначений сигнальник.

Після встановлення кроквяних ферм у проєктне положення їх тимчасово закріплюють розчалками, скобами або іншими пристроями. Тимчасове кріплення знімають тільки після остаточного закріплення ферм до колон, встановлення в'язей і прогонів. Під час монтажу ребристих плит необхідно контролювати правильність їх стропування, положення під час підйому та надійність спирання на несучі конструкції. Монтаж світлоаераційних ліхтарів виконують після перевірки жорсткості блока та справності монтажних з'єднань.

Роботи на висоті допускається виконувати лише з інвентарних помостів, риштувань або інших безпечних засобів доступу. Забороняється працювати з випадкових підставок, нестійких конструкцій або необладнаних місць. У разі сильного вітру, грози, ожеледі, недостатньої видимості або інших небезпечних умов монтажні роботи необхідно припинити [17-19].

Протипожежна безпека на будівельному майданчику забезпечується наявністю первинних засобів пожежогасіння, вільними проїздами для пожежної техніки та правильним зберіганням горючих матеріалів. Вогнегасники, ящики з піском, пожежний інвентар і засоби оповіщення повинні розміщуватися у доступних місцях.

Горючі матеріали, мастила, лакофарбові вироби та паливно-мастильні матеріали необхідно зберігати у спеціально відведених місцях, віддалених від зон зварювання та інших вогневих робіт. Забороняється захаращувати проходи, евакуаційні шляхи та під'їзди до пожежних гідрантів.

Вогневі роботи виконують тільки після підготовки робочого місця. Із зони робіт прибирають горючі матеріали, а біля місця зварювання або різання металу розміщують вогнегасники. Після завершення вогневих робіт необхідно оглянути робочу зону та переконатися у відсутності джерел займання.

3.4 Техніко-економічні показники комплексного процесу

Техніко-економічні показники комплексного процесу визначаються з метою оцінки ефективності прийнятої технології виконання будівельно-монтажних робіт. У даному розділі комплексним процесом є монтаж конструкцій покриття будівлі, до складу якого входять монтаж кроквяних ферм, встановлення в'язей і прогонів, монтаж ребристих залізобетонних плит покриття та монтаж світлоаераційних ліхтарів.

Комплексний процес виконується потоковим методом із поділом будівлі на чотири захватки. Така організація робіт забезпечує послідовне виконання однойменних процесів на різних захватках і паралельне виконання різнойменних процесів. Це дозволяє скоротити загальну тривалість монтажу, зменшити простої монтажного крана та забезпечити рівномірне використання трудових ресурсів.

Згідно з розробленим лінійним графіком, кількість захваток становить 4, кількість елементарних процесів — 4, ритм потоку — 1 робочий день. Загальна тривалість виконання комплексного процесу становить 7 робочих днів.

Загальна тривалість робіт визначається за формулою:

$$T = k \cdot (m + n - 1), \quad (3.3)$$

де T — загальна тривалість комплексного процесу, дні;

k — ритм потоку, дні;

m — кількість захваток;

n — кількість елементарних процесів.

Підставляємо прийняті значення:

$$T = 1 \cdot (4 + 4 - 1) = 7 \text{ днів.}$$

Трудомісткість комплексного процесу визначається як сума трудових витрат на виконання всіх простих процесів:

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (3.4)$$

де $Q_{\text{заг}}$ — загальна трудомісткість комплексного процесу, люд.-зм.;

Q_1 — трудомісткість монтажу кроквяних ферм;

Q_2 — трудомісткість встановлення в'язей і прогонів;

Q_3 — трудомісткість монтажу ребристих залізобетонних плит;

Q_4 — трудомісткість монтажу світлоаераційних ліхтарів.

Машиномісткість робіт визначається за тривалістю використання основної монтажною машини. Оскільки монтаж конструкцій виконується одним монтажним краном протягом 7 робочих днів в одну зміну, машиномісткість комплексного процесу становить: $M = 7$ маш.-зм.

Середня кількість робітників у зміну визначається за формулою:

$$N_{сер} = Q_{заг} / T, \quad (3.5)$$

де $N_{сер}$ — середня кількість робітників у зміну;

$Q_{заг}$ — загальна трудомісткість робіт, люд.-зм.;

T — тривалість виконання робіт, дні.

Виріток одного робітника визначається відношенням загального обсягу виконаних робіт до загальної трудомісткості:

$$B = V_{заг} / Q_{заг}, \quad (3.6)$$

де B — виріток одного робітника;

$V_{заг}$ — загальний обсяг робіт;

$Q_{заг}$ — загальна трудомісткість комплексного процесу.

Інтенсивність потоку визначається як обсяг будівельної продукції, що виконується за одиницю часу:

$$I = V_{заг} / T, \quad (3.7)$$

де I — інтенсивність потоку;

$V_{заг}$ — загальний обсяг робіт;

T — тривалість виконання робіт.

Таблиця 3.1 – Основні техніко-економічні показники комплексного процесу

Найменування показника	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Кількість захваток	m	шт.	4
Кількість елементарних процесів	n	шт.	4
Ритм потоку	k	дні	1
Загальна тривалість комплексного процесу	T	дні	7

Змінність робіт	A	зміна	1
Кількість монтажних кранів	—	шт.	1
Машиномісткість роботи крана	M	маш.-зм.	7
Загальна трудомісткість робіт	$Q_{заг}$	люд.-зм.	за відомістю трудомісткості
Середня кількість робітників у зміні	$N_{сер}$	осіб	$Q_{заг} / 7$
Загальний обсяг робіт	$V_{заг}$	т, м ² або шт.	за відомістю обсягів
Виробіток одного робітника	B	од./люд.-зм.	$V_{заг} / Q_{заг}$
Інтенсивність потоку	I	од./день	$V_{заг} / 7$

Отримані показники свідчать, що прийнята потокова організація монтажних робіт є раціональною для даного об'єкта. Виконання комплексного процесу протягом 7 робочих днів забезпечує безперервну роботу монтажного крана, послідовне переміщення спеціалізованих ланок по захватках і скорочення простоїв робітників та механізмів.

Таким чином, розроблена технологічна схема монтажу конструкцій покриття забезпечує організаційну узгодженість процесів, рівномірне використання трудових і технічних ресурсів, а також створює умови для своєчасного та безпечного виконання будівельно-монтажних робіт.

РОЗДІЛ VI. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов виконання робіт

Під час зведення будівлі найбільш відповідальними є монтажні роботи, пов'язані з установленням кроквяних ферм, ребристих залізобетонних плит покриття та світлоаераційних ліхтарів. Ці процеси виконуються з використанням вантажопідіймального крана, стропів, траверс, монтажних захватів, зварювального обладнання та ручного інструменту.

Роботи виконуються переважно на відкритому повітрі та на висоті, що підвищує вимоги до організації робочих місць, стійкості конструкцій у процесі монтажу, справності вантажозахватних пристроїв і забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Організація безпечного виконання робіт здійснюється відповідно до вимог ДБН А.3.2-2-2009, правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів та правил пожежної безпеки в Україні [17–19].

4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Під час виконання будівельно-монтажних робіт можуть виникати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- робота вантажопідіймальних механізмів;
- переміщення конструкцій краном;
- можливе падіння вантажів, інструментів або монтажних елементів з висоти;
- робота монтажників на висоті;
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- дія електричного струму під час використання електроінструменту і зварювального обладнання;
- несприятливі погодні умови;
- наявність гострих крайок, задирок і нерівностей на металевих конструкціях;

- пожежна небезпека під час виконання зварювальних та інших вогневих робіт.

Для зменшення впливу зазначених факторів необхідно передбачити комплекс організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці [17, 20].

4.3 Організація безпечного виконання робіт на будівельному майданчику

До початку виконання будівельно-монтажних робіт будівельний майданчик повинен бути підготовлений відповідно до проєкту виконання робіт. На майданчику необхідно передбачити безпечні проходи для працівників, проїзди для будівельних машин, місця складування конструкцій, зони роботи крана та місця розміщення первинних засобів пожежогасіння.

Небезпечні зони, у межах яких можливе переміщення вантажів краном, падіння предметів або дія інших небезпечних факторів, повинні бути огорожені та позначені попереджувальними знаками. Прогоди до робочих місць не допускається захарашувати матеріалами, інструментами або відходами будівельного виробництва.

До виконання робіт допускаються працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці, навчання безпечним методам виконання робіт і мають відповідну кваліфікацію. Усі працівники на будівельному майданчику повинні використовувати захисні каски, спецодяг, захисне взуття та рукавиці. Під час роботи на висоті додатково застосовуються запобіжні пояси або інші страхувальні засоби.

Роботи на висоті допускається виконувати лише з інвентарних помостів, риштувань, монтажних площадок або інших безпечних засобів доступу. Забороняється виконувати роботи з випадкових підставок, нестійких конструкцій або необладнаних місць.

4.4 Безпека під час монтажу конструкцій

Монтаж кроквяних ферм, плит покриття та світлоаераційних ліхтарів повинен виконуватися у технологічній послідовності, визначеній проектом виконання робіт. Перед підйомом кожної конструкції необхідно перевірити її стан, наявність монтажних петель, отворів або стропувальних елементів, а також правильність стропування.

Стропи, траверси, захвати та інші вантажозахватні пристрої повинні відповідати масі й габаритам конструкцій. Перед початком роботи їх оглядають, а пошкоджені або несправні пристрої до використання не допускаються [18].

Під час переміщення вантажів забороняється перебування людей під піднятою конструкцією або в зоні її можливого падіння. Підйом, поворот і подача елементів до місця встановлення повинні виконуватися плавно, без ривків. Команди машиністу крана подає тільки призначений сигнальник або відповідальна особа.

Після встановлення кроквяних ферм у проектне положення їх тимчасово закріплюють розчалками, скобами або іншими передбаченими пристроями. Тимчасове кріплення дозволяється знімати лише після остаточного закріплення ферм до колон, встановлення в'язей і прогонів. Під час монтажу ребристих залізобетонних плит необхідно контролювати правильність їх спирання та надійність закріплення. Монтаж світлоаераційних ліхтарів виконується після перевірки жорсткості просторового блока та справності його з'єднань.

У разі сильного вітру, грози, ожеледі, туману або недостатньої видимості монтажні роботи необхідно припинити, оскільки такі умови можуть призвести до втрати стійкості вантажу, порушення координації дій монтажників і виникнення аварійної ситуації.

4.5 Електробезпека та виробнича санітарія

Тимчасові електромережі на будівельному майданчику повинні бути виконані з дотриманням вимог електробезпеки. Кабелі необхідно прокладати так, щоб виключити їх механічне пошкодження транспортом, вантажами або

будівельними конструкціями. Електроінструмент і зварювальне обладнання дозволяється використовувати лише у справному стані.

Металеві частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою, повинні бути заземлені. Роботи з електроінструментом виконуються працівниками, які пройшли відповідний інструктаж. У разі виявлення несправності електрообладнання роботи необхідно припинити до усунення порушень.

Для забезпечення належних санітарно-побутових умов на будівельному майданчику передбачаються побутові приміщення, місця для відпочинку, питна вода, аптечка першої допомоги та засоби для надання домедичної допомоги. Робочі місця, проходи та проїзди в темний час доби повинні бути освітлені.

4.6 Протипожежна безпека під час виконання робіт

Протипожежна безпека на будівельному майданчику забезпечується дотриманням вимог Правил пожежної безпеки в Україні та загальних вимог до пожежної безпеки об'єктів будівництва [19, 21].

На території будівельного майданчика повинні бути розміщені первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники, ящики з піском, пожежний інвентар і засоби оповіщення. Під'їзди до будівлі, пожежних гідрантів і джерел водопостачання повинні залишатися вільними протягом усього періоду будівництва.

Горючі матеріали, мастила, лакофарбові вироби, балони з газами та інші пожежонебезпечні речовини необхідно зберігати у спеціально відведених місцях, віддалених від зон виконання зварювальних та інших вогневих робіт. Забороняється захаращувати евакуаційні проходи, проїзди та місця розташування засобів пожежогасіння.

Зварювальні та інші вогневі роботи допускається виконувати лише після підготовки робочого місця. Із зони виконання таких робіт прибирають горючі матеріали, а конструкції, які можуть зайнятися, захищають негорючими екранами. Біля місця виконання вогневих робіт повинні бути справні

вогнегасники. Після завершення робіт необхідно оглянути робочу зону та переконатися у відсутності тління або джерел займання.

Працівники повинні знати порядок дій у разі виникнення пожежі, місця розташування первинних засобів пожежогасіння, шляхи евакуації та порядок виклику пожежно-рятувальних підрозділів.

Будівля, що розглядається в бакалаврській роботі, належить до II ступеня вогнестійкості. Під час виконання будівельних робіт можливими небезпечними факторами пожежі є відкрите полум'я, іскри, підвищена температура повітря, дим, токсичні продукти горіння і зниження концентрації кисню. До вторинних проявів пожежної небезпеки належать ураження електричним струмом, пошкодження обладнання, а також вибухи, що можуть виникати внаслідок пожежі.

Для запобігання пожежі на будівельному майданчику необхідно не допускати утворення горючого середовища та джерел займання. Це забезпечується правильним зберіганням горючих і легкозаймистих матеріалів, використанням справного електрообладнання, дотриманням правил виконання зварювальних та інших вогневих робіт, а також застосуванням інструменту, який не утворює іскор під час роботи з пожежонебезпечними речовинами.

Протипожежний захист передбачає використання первинних засобів пожежогасіння, організацію шляхів евакуації, застосування засобів колективного та індивідуального захисту, а також заходів із протидимного захисту. На будівельному майданчику повинні бути передбачені вільні проїзди для пожежної техніки, доступ до пожежних гідрантів і місць розміщення протипожежного інвентарю.

У будівельному генеральному плані передбачаються протипожежні розриви між тимчасовими будівлями, спорудами та місцями складування матеріалів. Відстані між об'єктами приймаються з урахуванням вимог пожежної безпеки, щоб обмежити можливе поширення вогню у разі займання. Проїзди та під'їзди до будівлі повинні залишатися вільними протягом усього періоду будівництва.

На території будівельного майданчика передбачається встановлення пожежних щитів у місцях підвищеної пожежної небезпеки: поблизу зони зберігання легкозаймистих матеріалів, ділянок виконання вогневих робіт і місць складування горючих матеріалів. Пожежні щити повинні бути укомплектовані вогнегасниками, ломами, баграми, сокирами, лопатами, пожежними відрами та іншим необхідним інвентарем. Поруч із ними розміщують ящики з піском і ємності з водою.

На будівельному майданчику забороняється використання відкритого вогню поблизу місць зберігання легкозаймистих, горючих або вибухонебезпечних матеріалів. Паління дозволяється лише у спеціально відведених і обладнаних місцях. Горючі матеріали, лакофарбові вироби, мастила, паливно-мастильні матеріали та газові балони необхідно зберігати окремо, з урахуванням їх пожежної небезпеки, токсичності та хімічної активності.

Зварювальні та інші вогневі роботи допускається виконувати тільки після підготовки робочого місця. Із зони робіт необхідно прибрати горючі матеріали, а конструкції, які можуть зайнятися, захистити негорючими екранами. Біля місця виконання вогневих робіт повинні бути справні вогнегасники. Після завершення робіт необхідно оглянути робочу зону та переконатися у відсутності джерел займання або тління.

Для забезпечення зовнішнього пожежогасіння на будівельному майданчику передбачається використання пожежних гідрантів, розташованих у доступних місцях. Також майданчик обладнується телефонним зв'язком або іншими засобами оповіщення для своєчасного виклику пожежно-рятувальних підрозділів.

4.7 Розрахунок безпечного розміщення гусеничного крана біля котловану

Під час виконання будівельно-монтажних робіт поблизу котлованів необхідно забезпечити безпечне розташування вантажопідіймальної техніки. Особливе значення має визначення мінімально допустимої відстані від бровки котловану до найближчої опори гусеничного крана, оскільки неправильне

розміщення машини може призвести до втрати стійкості ґрунту та виникнення аварійної ситуації.

Відповідно до ДБН А.3.2-2-2009, переміщення, встановлення та експлуатація будівельних машин поблизу виїмок із незакріпленими укосами допускається лише за межами призми можливого обвалення ґрунту. Відстань від основи укосу до найближчої опори крана приймається згідно з проектом виконання робіт або визначається розрахунком.

Для виїмок глибиною менше 5 м найменшу допустиму відстань від найближчої опори крана до основи укосу можна визначити за формулою:

$$L_n = 1,2 \cdot a \cdot h + 1, \quad (4.1)$$

де L_n — найменша допустима відстань від основи укосу до найближчої опори крана, м; h — глибина котловану, м; a — коефіцієнт закладання укосу, який приймається залежно від виду ґрунту та крутизни укосу.

Необхідно визначити безпечну відстань установа стрілового гусеничного крана СКГ-50 від краю котловану глибиною 2,35 м, розробленого у суглинку.

За нормативними даними для заданих умов найменша допустима відстань становить: $L_n = 3,25$ м. Додатково виконуємо перевірку за розрахунковою формулою. Для суглинку приймаємо коефіцієнт закладання укосу: $a = 0,67$. Тоді: $L_n = 1,2 \cdot 0,67 \cdot 2,35 + 1 = 2,9$ м.

За результатами розрахунку отримано, що орієнтовна допустима відстань від основи укосу до найближчої опори крана становить 2,9 м. Оскільки за нормативною таблицею для заданих умов приймається більше значення — 3,25 м, у проекті остаточно приймаємо: $L_n = 3,25$ м.

Для забезпечення стійкості ґрунту та безпечної роботи гусеничного крана СКГ-50 мінімальна відстань від бровки котловану до найближчої опори крана приймається не менше 3,25 м. Прийняте значення враховує можливу тривалу експлуатацію крана поблизу котловану та забезпечує додатковий запас безпеки під час виконання будівельно-монтажних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Чинний від 2017-12-16. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 127 с.
2. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. Чинний від 2019-01-10. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2019. 183 с.
3. <https://nlz.ua/services>
4. Орловський Б.Я. та ін. Архітектура громадських та промислових будівель: Громадські будівлі. Підручник для ВНЗ / Під ред. Ю.С. Яралова. //- 2-е вид., перероб. і доп.- М.: Вищ.шк., 1998 – 271 с.
5. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Чинний від 2017-06-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 38 с.
6. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. — Київ : Мінрегіонбуд України, 2010.
7. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Чинний від 2021-12-30. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2022. 26 с.
8. Александрович В. А. Основи та фундаменти : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія / В. А. Александрович, Ю. І. Кобзар, О. В. Гаврилюк ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 158 с.
9. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт із навчальної дисципліни «Основи та фундаменти» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія) / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : Ю. І. Кобзар, О. В. Гаврилюк, В. А. Александрович. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. 69 с.

10. Технологія будівельного виробництва : підручник / В. К. Черненко, М. Г. Ярмоленко, Г. М. Батура та ін. ; за ред. В. К. Черненка, М. Г. Ярмоленка. Київ : Вища школа, 2002. 430 с.
11. ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва. Чинний від 2017-01-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 49 с.
12. <https://budhub.in.ua/blog/peri-ohliad-populiarnykh-system-opalubky-ta-yikhnoho-vykorystannia>
13. <https://www.peri.ua>
14. Джалалов М. Н. Зведення і монтаж будівель і споруд : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітньо-професійна програма «Промислове та цивільне будівництво») / М. Н. Джалалов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 113 с.
15. Підйомно-транспортні машини (системи): конспект лекцій: у 2-х ч. – Ч.2 / В.О. Волянчук, Д.О. Міщук. – Київ: КНУБА, 2020. – 172 с.
16. Технологія монтажу будівельних конструкцій : навчальний посібник. Київ : КНУБА, 2015.
17. ДБН А.3.2-2-2009 Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення (НПАОП 45.2-7.02-12). Чинний від 2009-01-27. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. 120 с.
18. НПАОП 0.00-1.80-18. Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання. Київ, 2018.
19. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні : наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417.
20. Косенко Н. О., Левашова Ю. С. Основи охорони праці та безпека життєдіяльності : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальностей 191 — Архітектура та

містобудування, 192 — Будівництво та цивільна інженерія. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. 127 с.

- 21.ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Чинний від 2017-06-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 38 с.