

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет конструювання і дизайну

ПОГОДЖЕНО

**Декан факультету
конструювання і дизайну**

_____ Іван
РОГОВСЬКИЙ
(підпис)

“ ___ ” _____ грудня 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри будівництва

_____ Ігор ЯКОВЕНКО
(підпис)

“ ___ ” _____ грудня 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Реконструкція споруди стадіону у м. Ужгороді»

Спеціальність 192 – «Будівництво та цивільна інженерія»

Освітня програма «Будівництво та цивільна інженерія»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

кандидат технічних наук, доцент _____ Євгеній БАКУЛІН
(підпис)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

кандидат технічних наук, доцент _____ Євген ДМИТРЕНКО
(підпис)

Виконав

_____ Максим МАЙСТРЕНКО
(підпис)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет конструювання і дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри будівництва

доктор технічних наук, професор

_____ Ігор ЯКОВЕНКО

(підпис)

“19” _____ грудня _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧУ

Майстренку Максиму Михайловичу

Спеціальність 192 – «Будівництво та цивільна інженерія»

Освітня програма «Будівництво та цивільна інженерія»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Реконструкція споруди стадіону у м. Ужгороді»,

затверджена наказом від “16” грудня 2024 р. №2267 “С”.

Термін подання завершеної роботи на кафедрі 2025, листопад, 28

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: необхідно розробити проєкт реконструкції споруди стадіону в м. Ужгороді, що передбачає влаштування навісу над трибунами та прибудову адміністративно-побутового блоку. Конструктивна схема — сталевий рамно-в'язевий каркас. Габаритні розміри прибудови в плані 72х6 м, висота консолі навісу 11,4 м. Район будівництва характеризується сейсмічністю 7 балів, снігове навантаження для 2-го району (1340 Па).

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Виконати аналітичний огляд сучасних конструктивних рішень великопрольотних покриттів спортивних споруд в умовах сейсмічної активності.

2. Обґрунтувати розрахункову схему сталевого каркаса навісу (балка з консоллю на двох опорах) та виконати чисельне моделювання напружено-деформованого стану (НДС) конструкції.

3. Провести порівняльний аналіз геометричних схем ферм (паралельна, трикутна, трапецієвидна) за критерієм металоємності та деформативності.

4. За результатами модального аналізу розробити рекомендації щодо забезпечення сейсмостійкості каркаса та вузлів кріплення (анкерних баз).

Перелік графічного матеріалу (за потреби):

→ архітектурна частина (Генеральний план ділянки реконструкції, плани 1-го поверху прибудови, експлікація приміщень, фасад стадіону, поперечний розріз по трибуні з навісом) - 3 аркуші формату А1;

→ розрахунково-конструктивна частина (Схема розташування елементів каркаса, креслення кроквяної ферми трапецієвидного окреслення прольотом 19,4 м, креслення колони 35К1, вузли опирання ферми та бази колони, специфікація металопрокату) - 2 аркуші формату А1;

→ основи і фундаменти (План розташування фундаментів, креслення монолітних фундаментів під колони К1 та К2, схема армування, анкерні вузли, інженерно-геологічний розріз) - 1 аркуш формату А1;

→ організація будівельного виробництва (Будівельний генеральний план на період монтажу каркаса, схема руху монтажного крана МКГ-25, календарний графік виконання робіт з реконструкції, графіки руху робочих та матеріалів, ТЕП) – 1 аркуші формату А1;

→ технологія будівельного виробництва (Технологічна карта на монтаж сталевих колон: схеми стропування, схеми монтажних стоянок крана, операційний контроль якості, вказівки з техніки безпеки) – 1 аркуш формату А1.

→ науково-дослідна частина Порівняльні схеми та епюри зусиль для трьох варіантів ферм, таблиці техніко-економічного порівняння, графіки залежності прогинів від геометрії, результати модального аналізу) - плакати у презентації.

Дата видачі завдання “18” грудня 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Євген ДМИТРЕНКО
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____ Максим МАЙСТРЕНКО
(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	11
1.1. Загальні відомості про об'єкт реконструкції.....	11
1.2. Кліматичні та інженерно-геологічні умови.....	13
1.3. Генплан і благоустрій території.....	14
1.4. Об'ємно-планувальне рішення.....	16
1.5. Архітектурні рішення.....	18
1.5.1. Теплотехнічний розрахунок стінових панелей.....	21
1.6. Конструктивні рішення.....	22
1.7. Покриття та навіс.....	27
1.8. Інженерне обладнання.....	30
1.9. Протипожежні заходи.....	34
1.10. Енергоефективність та комфорт.....	37
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА	39
2.1. Методика розрахунку та вихідні дані	39
2.1.1. Характеристика матеріалів.....	39
2.1.2. Розрахунок навантажень на покриття.....	39
2.1.3. Визначення вузлових навантажень на ферму.....	40
2.2. Розрахунок сталевого прогону.....	40
2.3. Розрахунок кроквяної ферми.....	41
2.3.1. Вихідні дані та геометрична схема	41
2.3.2. Визначення розрахункових зусиль.....	41
2.3.3. Перевірка перерізів елементів	43
2.3.4. Розрахунок зварних швів решітки	46
2.4. Розрахунок колон каркаса	47
2.4.1. Колона К1	48
2.4.2. Колона К2	50
РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ ТА ФУНДАМЕНТИ.....	51
3.1. Інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови майданчика.....	51
3.1.1. Геоморфологічна характеристика.....	51
3.1.2. Характеристика ґрунтових нашарувань.....	51
3.1.3. Сейсмічні умови майданчика.....	53
3.1.4. Гідрогеологічні умови.....	53
3.2. Обґрунтування вибору типу фундаментів.....	53
3.2.1. Аналіз варіантів	53
3.2.2. Вибір оптимального рішення	54
3.3. Проектування та розрахунок фундаменту Ф-1 (під колону К1)	54
3.3.1. Вихідні дані для розрахунку	55
3.3.2. Визначення розмірів подошви фундаменту	55
3.3.3. Уточнення розрахункового опору ґрунту	56
3.3.4. Перевірка тиску під подошвою	56
3.3.5. Перевірка на продавлювання (зріз)	56
3.3.6. Розрахунок осідання фундаменту (S)	57
3.4. Конструювання фундаментів	57

3.4.1. Армування	57
3.4.2. Анкерні вузли	58
3.5. Захист фундаментів та гідроізоляція	58
3.5.1. Гідроізоляція	58
3.5.2. Водовідведення.....	58
3.6. Технологія виконання робіт нульового циклу	59
3.6.1. Земляні роботи	59
3.6.2. Бетонні роботи	59
3.6.3. Зворотна засипка	60
3.7. Геотехнічний моніторинг.....	60
РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА	61
4.1. Характеристика умов реконструкції та методи виконання робіт	61
4.2. Технологічна карта на монтаж сталевих колон	62
4.2.1. Область застосування	62
4.2.2. Організація та технологія будівельного процесу	62
4.2.3. Вибір монтажного крана та оснащення	65
4.2.4. Калькуляція трудових витрат	65
4.3. Контроль якості виконаної роботи	67
4.4. Техніка безпеки і охорона праці при монтажних роботах.....	69
РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВНИЦТВА	80
5.1. Характеристика умов реконструкції та методи виконання робіт	80
5.2. Календарне планування будівництва.....	81
5.2.1. Розрахунок трудомісткості робіт.....	81
5.2.2. Розрахунок параметрів календарного плану.....	82
5.2.3. Техніко-економічні показники календарного плану.....	86
5.3. Проектування будівельного генерального плану.....	88
5.3.1. Розрахунок площ складських приміщень.....	88
5.3.2. Розрахунок тимчасових будівель та споруд.....	88
5.3.3. Розрахунок тимчасового водопостачання.....	89
5.3.4. Розрахунок тимчасового електропостачання.....	90
5.3.5. Опис рішень будгенплану	91
5.4. Охорона навколишнього середовища.....	93
5.5. Техніко-економічні показники ПОБ.....	94
5.6. Організація матеріально-технічного забезпечення.....	94
5.7. Організація оперативно-диспетчерського управління.....	96
5.8. Особливості виконання робіт у зимовий період та за несприятливих погодних умов.....	97
5.9. Протипожежні заходи на будівельному майданчику.....	98
5.10. Організація геодезичного моніторингу за станом існуючих конструкцій..	99
5.11. Забезпечення об'єкта теплом та паливом.....	100
5.12. Організація зв'язку та диспетчеризації.....	101
5.13. Соціальне обслуговування працівників.....	102
РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	103
6.1. Загальні положення та методика визначення вартості.....	103

6.2. Локальний кошторисний розрахунок.....	103
6.3. Об'єктний кошторисний розрахунок.....	107
6.4. Зведений кошторисний розрахунок вартості будівництва.....	108
6.5. Техніко-економічні показники проєкту (ТЕП)	109
РОЗДІЛ 7. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	111
7.1. Стан питання та постановка задачі дослідження.....	111
7.2. Методика чисельного моделювання варіантів.....	113
7.3. Аналіз результатів дослідження.....	115
7.4. Дослідження статичної схеми опирання.....	119
7.5. Аналіз динамічних характеристик.....	120
7.6. Загальні висновки до наукової частини.....	121
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	123
ДОДАТКИ.....	127

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток спортивної інфраструктури в Україні потребує модернізації існуючих об'єктів, більшість з яких були збудовані у минулому столітті та не відповідають сучасним нормам енергоефективності, безпеки та комфорту. Місто Ужгород, як обласний центр, потребує сучасної спортивної арени, здатної приймати змагання високого рівня. Реконструкція споруди стадіону дозволить вирішити проблему аварійності існуючих конструкцій, розширити функціонал підтрибунних приміщень та забезпечити захист глядачів від атмосферних опадів. Використання металевго каркаса при реконструкції є найбільш доцільним рішенням в умовах сейсмічності регіону (7 балів), оскільки дозволяє зменшити вагу споруди та скоротити терміни будівництва.

Мета і завдання роботи. Метою магістерської роботи є розробка проекту реконструкції споруди стадіону в м. Ужгороді із влаштуванням навісу та розширенням підтрибунних приміщень. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати інженерно-геологічні та кліматичні умови майданчика;
- розробити архітектурно-планувальні рішення прибудови в осях Б-В;
- розрахувати несучі елементи металевго каркаса (колони, балки, ферми) з урахуванням сейсмічних впливів;
- розробити технологічну карту на монтаж металокопструкцій;
- визначити кошторисну вартість реконструкції.

Об'єкт дослідження: процес реконструкції громадської будівлі спортивного призначення. **Предмет дослідження:** конструктивні рішення металевго каркаса навісу та прибудови в умовах сейсмічності.

Наукова новизна. Полягає в обґрунтуванні раціональної статичної схеми покриття (балка з консоллю на двох опорах) для умов реконструкції, що дозволяє зменшити зусилля в фундаментах при сейсмічних навантаженнях.

Практичне значення. Розроблені проектні рішення дозволяють збільшити корисну площу стадіону, забезпечити комфорт глядачів та подовжити термін експлуатації споруди.

Розділ 1. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Загальні відомості про об'єкт реконструкції

Об'єктом реконструкції є західна трибуна міського стадіону в м. Ужгород, яка наразі виконана у вигляді земляного насипу без стаціонарного навісу та з мінімальними підтрибунними приміщеннями. Проектом передбачено розширення функціональних можливостей стадіону шляхом добудови адміністративно-побутового блоку і влаштування нового навісу над глядацькими місцями. Існуючі земляні трибуни зберігаються, при цьому частково демонтуються застарілі залізобетонні опори та елементи, що заважають новому будівництву. Запропоновані рішення дозволять збільшити корисну площу стадіону (за рахунок нових приміщень під трибунами), підвищити комфорт і безпеку глядачів (через накриття трибун навісом) та продовжити термін експлуатації споруди за сучасними стандартами.

Реконструкція здійснюється в межах наявного земельного відводу стадіону. Новий навіс і прибудова гармонійно інтегруються в існуючу структуру комплексу, не порушуючи роботу футбольного поля і суміжних споруд. Функціональне призначення об'єкта – громадська спортивна споруда (стадіон) зі службово-побутовими приміщеннями для спортсменів і персоналу та відкритими трибунами для глядачів. Проектні рішення розроблено з урахуванням вимог сучасних будівельних норм та стандартів для спортивних споруд, зокрема ДБН В.2.2-17:2006 «Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди», що регламентує планувальні, конструктивні та експлуатаційні параметри стадіонів.

Основні техніко-економічні показники реконструйованої частини стадіону включають: довжину трибуни ~72 м (13 осей з кроком 6 м), місткість глядацьких місць (після реконструкції) близько 2–3 тисяч осіб (залежно від оснащення сидіннями), кількість надземних рівнів прибудови – 2 основні поверхи і експлуатована тераса, висота споруди до верху навісу ~9,2 м. Клас наслідків (відповідальності) об'єкта – СС2 (середні наслідки), категорія будівлі за

пожежною безпекою – IIIа ступінь вогнестійкості, конструктивна довговічність – II ступінь (нормальна довговічність). Запроектовані температурно-вологісні режими приміщень відповідають санітарним нормам: у роздягальнях розрахункова температура +18 °С, у душових +20 °С та належний повітрообмін (див. розділ про інженерне обладнання). Таким чином, реконструйований стадіон відповідатиме вимогам щодо безпеки, комфорту та функціональності, які висуваються до сучасних спортивних арен.

Майданчик будівництва (реконструкції) розташований у м. Ужгород, Закарпатська область. Клімат району помірно-континентальний, з м'якою зимою і теплим літом. Характеристика природно-кліматичних умов прийнята згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» та наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Природно-кліматичні характеристики району будівництва

№ з/п	Найменування характеристики	Характеристика
1	Місце будівництва	м. Ужгород
2	Кліматичний район	III А
3	Розрахункова температура зовнішнього повітря (найхолоднішої п'ятиденки, 0,92)	-17 °С
4	Характеристичне значення снігового навантаження (2 район)	1340 Па
5	Характеристичне значення вітрового навантаження (2 район)	450 Па
6	Сейсмічність майданчика будівництва	7 балів
7	Нормативна глибина промерзання ґрунту	0,8 м
8	Зона вологості	Волога

Ґрунтові умови майданчика: основа складена з непросадних ґрунтів (суглинки, гравійні відкладення річки Уж), ґрунтові води на глибині більше 3 м від поверхні. Категорія ґрунтів за сейсмічними властивостями - II.

1.2. Кліматичні та інженерно-геологічні умови

Майданчик будівництва розташований у Закарпатській області, для якої характерний помірно-континентальний клімат з м'якою зимою та теплим вологим літом. Згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія», район будівництва належить до III кліматичної зони, підзони А. Розрахункова температура зовнішнього повітря найхолоднішої п'ятиденки (забезпеченість 0,92) становить близько -17 °С. Характеристичне нормативне снігове навантаження для даного району – близько 1,34 кПа (II район по снігу), що еквівалентно 134 кг/м^2 горизонтальної проекції покриття. Вітрове навантаження відповідає II району – порядку 0,45 кПа (45 кг/м^2) при основній швидкості вітру ~ 28 м/с для середньої місцевості. Клімат району достатньо вологий (вологісна зона – волога): середньорічна відносна вологість повітря становить близько 72%, з частими опадами протягом року (річна кількість опадів понад 700 мм). Річний перепад температур помірний: середня температура січня близько $-1 \dots -2$ °С, липня $+20 \dots +22$ °С.

Сейсмічні умови ділянки будівництва потребують врахування при проектуванні конструкцій – згідно карти сейсмічного районування України Закарпаття відноситься до зони з сейсмічністю до 7 балів (MSK-64). Відповідно, будівельні конструкції розраховуються на сейсмічні навантаження 7-бального землетрусу. Це накладає вимоги щодо просторової жорсткості каркаса, надійності вузлів та зв'язків, а також щодо армування фундаментів (див. конструктивний розділ).

Інженерно-геологічні умови майданчика сприятливі для будівництва. Геологічна основа трибун та прилеглої території складена несучими непросадочними ґрунтами: суглинками та гравелистими відкладеннями р. Уж,

які мають достатню несучу здатність. За результатами інженерних вишукувань, несучий шар ґрунту залягає на глибині близько 1,0–1,5 м, що дозволяє влаштувати фундаменти мілкового закладання. Рівень ґрунтових вод стабільний, розташовується глибше 3 м від поверхні, тому вплив підземних вод на будівельні конструкції мінімальний (при звичайних глибинах фундаментів ~1,5–2 м). Нормативна глибина промерзання ґрунту в районі невелика – близько 0,8 м, отже фундаменти закладаються нижче цієї глибини для запобігання пучення. Категорія ґрунтів за сейсмічними властивостями – II (середньостійкі), що відповідає умовам середньої сейсмічної небезпеки. В цілому, кліматичні та ґрунтові умови майданчика не перешкоджають успішній реалізації проєкту за умови врахування наведених характеристик у розрахунках і конструктивних рішеннях.

Таблиця 1.2 - Характеристики будівлі

№ з/п	Найменування характеристики	Показник
1	Клас наслідків (відповідальності)	СС2
2	Ступінь вогнестійкості	IIIa
3	Ступінь довговічності	II
4	Санітарно-гігієнічні вимоги (t вн)	+18 °С (роздягальні), +20 °С (душові)

1.3. Генплан і благоустрій території

Ділянка реконструкції знаходиться в межах існуючого спортивного комплексу (стадіону) в м. Ужгород, в оточенні спортивних майданчиків та під'їзних шляхів. Рельєф території спокійний, істотних ухилів немає, що спрощує вертикальне планування. Генеральним планом передбачено збереження існуючого положення і орієнтації футбольного поля (поздовжня вісь поля традиційно орієнтована з півночі на південь). Новий адміністративно-побутовий блок з навісом розташовується вздовж західної сторони головної трибуни,

паралельно кромці поля. Таким чином, західна трибуна після реконструкції матиме накриття і стане основною критою трибуною стадіону.

Проектом максимально використовується наявний простір позаду трибун: прибудова займає смугу шириною 6 м уздовж підніжжя земляного насипу. Для влаштування прибудови може здійснюватися часткова вибірка ґрунту з тилу насипу трибун з формуванням вертикального стику по осі **Б**, де запроєктовано лінію колон і стіну прибудови. Фактично стіна прибудови вздовж осі **Б** виконує роль підпірної стінки для ґрунту трибуни. При цьому сам профіль трибун (східці для глядачів) залишається без змін, окрім впорядкування верхнього проходу і місць виходу на галерею.

Під час реконструкції враховано необхідність знесення або перенесення окремих існуючих елементів, що заважають будівництву. Зокрема, демонтажу підлягають старі збірні підпірні стінки або опори, якщо вони були встановлені вздовж задньої частини трибун, а також інші інженерні мережі, траси яких потрапляють в зону нового будівництва (після чого комунікації перекладаються згідно з новим генпланом).

Для забезпечення пожежної безпеки та експлуатаційного обслуговування, навколо стадіону та нової прибудови передбачено під'їзні шляхи і пожежний об'їзд. Уздовж західного фасаду прибудови влаштовується проїзд із твердим покриттям шириною не менше 3,5 м, що дозволяє під'їзд пожежної та спеціальної техніки в разі потреби. Територія навколо будівлі буде впорядкована: передбачено вимощення шириною 1,5 м вздовж периметру прибудови для відведення води від фундаментів; пішохідні доріжки, що з'єднують трибуни з існуючою інфраструктурою стадіону, покриваються фігурними елементами мощення (тротуарною плиткою типу ФЕМ) для зручності пересування глядачів; відновлюються та заново влаштовуються газони на відкритих ділянках, висаджуються декоративні кущі та озеленення для покращення естетики території.

Водовідведення з території – дощове і дренажне – організоване поверхневим способом: поверхневі води з покриттів відводяться нахилами в бік зливоприймачів (дощоприймальних колодязів) зливної каналізації, далі – у міську дощову каналізацію. Такий підхід запобігатиме підтопленню фундаментів і утворенню калюж у глядацькій зоні. Загалом, генеральний план реконструкції забезпечує зручний доступ до трибун, необхідні під'їзди та благоустрій території, а також враховує вимоги пожежної безпеки та комфорту глядачів.

1.4. Об'ємно-планувальне рішення

Проектований об'єкт являє собою комбіновану споруду, що складається з існуючих відкритих трибун на земляному насипі та нової прибудованої будівлі каркасного типу під трибунами і позаду них. Просторово споруда поділяється на дві частини: зона трибун (глядацькі місця під навісом) та зона прибудови (закриті приміщення під та за трибунами).

Габарити та конфігурація. Новий адміністративно-побутовий блок витягнутий уздовж трибуни на всю її довжину. Габаритні розміри прибудови в плані: довжина в осях 1–13 – 72,0 м (12 прольотів по 6 м між осями); ширина прибудови (в осях Б–В) – 6,0 м. Ширина існуючих трибун (від переднього краю до тилу земляного насипу, між осями А–Б) становить близько 10,0 м. Таким чином загальна ширина комплексу «трибуна+прибудова» від переднього краю трибуни до задньої стіни прибудови становитиме приблизно 16 м. Висотна характеристика: від рівня умовної нульової відмітки 0.000 (рівень підлоги 1-го поверху прибудови та рівень землі перед трибуною) до верху навісу ~9,2 м. Кут нахилу трибуни (земляного насипу зі східцями) визначається існуючою конструкцією і забезпечує добру видимість поля з усіх рядів – орієнтовно нахил порядку 30°.

Поверховість та планування. Будівля прибудови має два основних надземних рівні (поверхи) і один відкритий експлуатований рівень на даху, що прилягає до трибун:

- Перший поверх (відм. 0.000) – розташовані під трибуною приміщення господарсько-побутового та спортивного призначення. Тут передбачено роздягальні для двох команд (з душовими та санвузлами), кімнати тренерів і суддів, інвентарні комори для зберігання спортивного обладнання, а також технічні приміщення (для інженерних комунікацій, електрощитова тощо). Планування здійснено з урахуванням потоків спортсменів: передбачені окремі входи для команд, з можливістю виходу безпосередньо на поле (через тунель або проходи в зоні між осями 6-7, в залежності від детального плану). Висота приміщень першого поверху – 3,0 м (від підлоги до низу конструкцій перекриття), що забезпечує достатній простір для вентиляції та монтажу інженерних мереж під стелею.
- Другий поверх (відм. +3.000) – вміщує адміністративно-сервісні приміщення стадіону. Тут розташовані офіси адміністрації клубу чи спорткомплексу, кімнати для персоналу, конференц-зал або кімната для пресслужби, а також приміщення для відпочинку спортсменів і тренувань: наприклад, невеликий тренажерний зал (фітнес-зал) з видом на поле. Окрім того, на другому рівні передбачено буфет або кафе для глядачів/спортсменів, звідки зручно обслуговувати відвідувачів під час перерв. Планування другого поверху підкориговане під конструктивну схему колон (крок 6 м) – приміщення організовані секційно між колонами, з коридором уздовж фасаду. Висота приміщень другого поверху аналогічно ~3 м до стелі.
- Третій рівень (відм. +6.000) – експлуатована покрівля прибудови, що виконує функцію відкритої тераси-галереї. Ця галерея тягнеться вздовж всього стадіону за верхнім рядом трибун і служить розподільчим майданчиком для глядачів: з неї глядачі заходять на свої місця у верхніх рядах трибун. Ширина галереї відповідає ширині прибудови (6 м), огороження по зовнішньому краю передбачено у вигляді перил висотою 1,2 м. Поверхня галереї – це плоска покрівля, розрахована на пішохідне

навантаження (експлуатація як пішохідної зони). Для захисту від опадів над трибуною і галереєю змонтовано навіс (консольний дах), який накриває глядацькі місця і частково саму галерею.

Вертикальний зв'язок між рівнями забезпечують двоє сходів, розташовані в торцях прибудови. У осях 1–2 і 12–13 запроєктовано внутрішні сходові клітки, що з'єднують перший, другий поверхи та виходять на рівень галереї. Ширина маршів та кількість виходів розраховані з умов безпечної одночасної евакуації глядачів з верхніх рядів трибуни та людей з приміщень. Окрім сходів, для обслуговування можливе передбачення допоміжних драбин або ліфтів (наприклад, вантажного підйомника для буфету), хоча основна комунікація – сходові клітки.

За рахунок запропонованих об'ємно-планувальних рішень стадіон отримує сучасну функціональну зону під трибунами, яка раніше була відсутня або мала випадковий характер. Нові приміщення забезпечують всі необхідні потреби спортсменів і персоналу, а також покращують сервіс для глядачів (туалети, буфет, зручні входи/виходи). Навіс над трибунами значно підвищує комфорт глядачів, дозволяючи проводити заходи за будь-якої погоди. При цьому загальна місткість трибун і їх розташування залишаються без змін, що зберігає спортивно-функціональну роль стадіону.

1.5. Архітектурні рішення (фасади, матеріали, теплоізоляція)

Архітектурний образ реконструйованої трибуни поєднує сучасні матеріали і функціональність. **Фасади прибудови** вирішені стримано та технічно, у відповідності до призначення спортивної споруди. Зовнішня стіна прибудови (західний фасад) виконана з навісних тришарових сендвіч-панелей заводського виготовлення, закріплених на сталевому каркасі. Панелі складаються з двох шарів оцинкованої сталеві облицювальної бляхиз полімерним покриттям (колір добирається згідно з дизайном – можливе використання фірмових кольорів

клубу або нейтрального сірого/білого для гармонії із навколишньою забудовою) та внутрішнього утеплювача. В якості утеплювача застосовано негорючу мінераловатну плиту товщиною 150 мм. Така стіна забезпечує високі теплоізоляційні показники та відповідає вимогам енергоефективності. Розрахунковий опір теплопередачі сендвіч-панелі товщиною 150 мм становить $R \approx 3,57 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, що перевищує мінімально необхідний для даного кліматичного регіону ($R_n \sim 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$). Отже, огорожувальні конструкції відповідають нормативним вимогам теплоізоляції без додаткового утеплення.

Композиція фасаду формується ритмом металевих колон каркасу (крок 6 м), між якими встановлено сендвіч-панелі. Щоб уникнути монотонності довгого фасаду, можливе чергування панелей різних відтінків або використання вертикальних пілястр (декоративних накладок на стиках панелей). Верхній ярус фасаду – рівень галереї +6.000 – відкритий, огорожений металевими перилами; вище розташовується консольний навіс, нижня поверхня якого може бути облицьована профільованим листом або підшивною панеллю світлого кольору для естетичності. Східний фасад прибудови фактично суміщений з трибуною – тут сендвіч-панелі не застосовуються (ця сторона прилягає до ґрунту трибуни і частково не видима). Натомість на рівні галереї зі сторони трибуни може бути влаштована відкрита аркада або стіна з проходами, що відокремлює галерею від насипу трибуни (якщо необхідно утримувати ґрунт). Ця внутрішня фасадна частина, а також видимі елементи під трибуною, можуть бути оздоблені ударостійкими матеріалами (наприклад, цементно-стружковими плитами, штукатуркою по сітці тощо) стійкими до атмосферних впливів.

Опорядження та теплоізоляція покрівлі. Покриття прибудови і навіс виконані з аналогічних сендвіч-панелей, але покрівельного типу (з профільованим несучим листом підвищеної жорсткості висотою гофри ~ 40 мм). Товщина панелей покрівлі також 150 мм для забезпечення теплоізоляції. Покрівельні панелі укладаються на систему сталевих прогонів, закріплених до конструкцій каркаса (ферм навісу та балок перекриття). Укладання панелей

здійснюється з необхідними напусками та герметизацією швів, що гарантує водонепроникність даху. Кут нахилу покрівлі невеликий (порядку 5–7°) і заданий геометрією верхнього поясу ферм навісу – підйом від переднього краю навісу до тилової опори забезпечує стікання дощової води вперед, за межі трибуни. Місця прилягання покрівлі до вертикальних конструкцій (біля стику з фасадом та по боках навісу) обладнуються добірними елементами (фартухами, боковими відливами) з оцинкованої сталі з полімерним покриттям, що унеможливають затікання води.

Вікна та двері. У зовнішніх стінах прибудови передбачено віконні прорізи для природного освітлення приміщень другого поверху і частково першого (там, де дозволяє планування). Вікна запроєктовано металопластикові, з енергозберігаючими двокамерними склопакетами (формула скла 4-16-4-16-4і, де зовнішнє скло з низькоемісійним покриттям). Це забезпечує високий опір теплопередачі світлопрозорих огорожень і комфортний мікроклімат у приміщеннях. На першому поверсі вікна можуть бути відсутні або мати обмежену площу (наприклад, невеликі вікна в роздягальнях під трибунами) з огляду на те, що більша частина першого рівня заглиблена під трибуну. Двері зовнішні запроєктовано металеві утеплені (з терморозривом, щоб уникати промерзання), розмірами не менше 1,2 м шириною для евакуації. Внутрішні двері в приміщеннях – дерев'яні або металопластикові (МДФ-панелі чи ПВХ), відповідно до призначення кімнат. На входах до роздягалень та санвузлів встановлюються вологостійкі дверні блоки.

Внутрішнє планувальне та декоративне рішення. Планування приміщень виконане з урахуванням технологічних процесів стадіону і зручності пересування. Внутрішні перегородки запроєктовані з легких блокових матеріалів – газобетонні блоки товщиною 200 мм (у ненесучих стінах), що забезпечують достатню звукоізоляцію між приміщеннями. Мурування перегородок армоване по горизонталі через кожні ~3 ряди кладки металевою сіткою для тріщиностійкості. Поверхні стін усередині приміщень підлягають чистовому

оздобленню: штукатурення або шпаклювання з наступним фарбуванням інтер'єрними фарбами світлих тонів (вологостійкими у душових і санвузлах). У душових і санітарних кімнатах на стінах передбачається керамічна плитка на висоту не менше 2 м від підлоги.

Підлоги в різних зонах виконуються з урахуванням експлуатаційних вимог: у вестибюлях, коридорах та роздягальнях – керамічна плитка з неслизькою поверхнею, покладена на цементно-піщану стяжку (товщиною ~50 мм) по жорсткій основі; в душових – керамічна плитка з трапами для води (гідроізоляція під стяжкою обов'язкова); у тренажерному залі – спеціальне спортивне пружне покриття (наприклад, гумове рулонне або поліуретанове наливне) для амортизації; в технічних і складських приміщеннях – бетонна підлога з зміцненим верхнім шаром (топінг), стійким до стирання. Стелі у приміщеннях можуть бути підшивними з гіпсокартону або підвісними модульного типу, що дозволить сховати комунікації й забезпечити акустичний комфорт.

Зовнішній вигляд оновленої трибуни відповідає сучасним тенденціям спортивної архітектури: легкий навіс на тонких опорах, лаконічний металевий фасад, поєднання клубних кольорів у оздобленні. При цьому всі матеріали підібрані з урахуванням довговічності та простоти експлуатації (корозійностійкі покриття, мінімум догляду за фасадом, антивандальні рішення в зоні глядачів). Архітектурні рішення спрямовані на створення естетично привабливого та функціонального об'єкту, що вписується в існуючий комплекс стадіону і підкреслює його оновлений статус.

1.5.1. Теплотехнічний розрахунок стінових панелей

Розрахунок виконано згідно з ДБН В.2.6-31:2016.

Необхідний опір теплопередачі для I температурної зони: $R_{qmin} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$

Термічний опір сендвіч-панелі товщиною 150 мм (мінвата $\lambda = 0,042$ Вт/м · К)

$$R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,15}{0,042} = 3,57 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Висновок: $3,57 > 3,3$. Товщина панелі 150 мм задовольняє вимоги енергоефективності.

1.6. Конструктивні рішення (колони, балки, ферма, фундаменти, вузли кріплення)

Носний каркас прибудови і навісу виконано із сталевих елементів, що забезпечує необхідну міцність при відносно малій вазі конструкцій та швидкому монтажі. Конструктивна схема – каркасна рама зі сталевих колон і балок, з використанням горизонтальних і вертикальних зв'язків для просторової роботи. Основні рішення по конструкціях такі:

- Каркас і просторове забезпечення жорсткості: Будівля запроєктована як система поперечних рам із кроком 6 м (вздовж трибуни) та поздовжніх зв'язків. Просторова жорсткість каркаса забезпечується сумісною роботою ригелів і колон, що об'єднані у рами, а також системою вертикальних зв'язків (розташованих в декількох прольотах, наприклад в площині стін сходових кліток в осях 1-2 та 12-13). Діафрагмою жорсткості виступають міжповерхові перекриття, які сприймають горизонтальні навантаження (вітер, сейсміку) і передають на колони та зв'язки. Рамні вузли (колонаригель) частково виконані жорсткими на згин (особливо в крайніх осях і в зонах без вертикальних зв'язків) для сприйняття вітрових зусиль, інші вузли можуть бути шарнірними, що спрощує монтаж і не заважає роботі зв'язків. Така комбінована схема (рамно-зв'язева) обрана з урахуванням сейсмічних навантажень: вона дозволяє гасити енергію землетрусів за

рахунок пластичності в певних елементах і зменшує зусилля в фундаментах.

- Колони: Вертикальні опори каркаса – сталеві колони з гарячекатаного двотавра суцільного перерізу. Застосовано профілі змінних типорозмірів залежно від ряду колон:
 - По осі Б (лінія колон на межі трибуни і прибудови): колони перерізом, еквівалентним двотавру 35К1 (висота двотавра близько 350 мм). Висота кожної колони ~9,2 м (на всю висоту будівлі до навісу). Ці колони несуть навантаження від міжповерхових перекриттів прибудови, а також є опорами для ферми навісу (через шарнірне з'єднання на верху).
 - По осі В (зовнішній ряд колон фасаду прибудови): колони перерізу, еквівалентного двотавру 30К1 (висота ~300 мм). Також заввишки ~9,2 м. Ці колони несуть навантаження від перекриттів та сприймають вітровий тиск на зовнішній фасад.
 - Матеріал сталевих елементів – прокатна сталь класу С345 (міцністю ~345 МПа), придатна для зварювання та роботи в сейсмічних районах. Колони встановлені вертикально, закріплення їх до фундаментів – жорстке (через анкерні болти або через заливку в «склянку» фундаменту), що забезпечує нерухомість основи колон. Для захисту від корозії всі сталеві колони покриваються ґрунтовкою та вогнезахисною фарбою, а зовні (в зоні відкритої галереї) – додатково фінішною емаллю.
- Балки перекриття: Горизонтальні несучі елементи перекриттів (ригелі рам і другорядні балки) виконані зі сталевих двотаврів:
 - Головні балки (ригелі) кожної рами, що пролягають вздовж осі В на рівнях міжповерхових перекриттів (+3.000 і +6.000), прийняті профілем типу 25Б1 (двотавр висотою ~250 мм). Вони спираються

на колони осей Б та В, утворюючи разом з ними раму. Крок встановлення головних балок – 6,0 м (по кожній рамі, співпадає з кроком колон).

- Вторинні балки перекриття (балки настилу підлоги) – двотаври типу 20Б1 (висота ~200 мм), укладені поперек прольоту з кроком 2,0 м. Вони спираються на головні балки або на полиці колон по осі Б і служать опорою для плит підлоги/настилу. Вторинні балки дозволяють використовувати тонкі плити перекриття або настил по профнастилу без значного прогину.
- Сталеві балки перекриттів прикріплюються до колон на болтах або зварюванням (в залежності від прийнятого типу вузла – шарнірного чи напівжорсткого). Перетини балок перевірені на прогин від нормативного навантаження (розрахункове повне навантаження на перекриття включає власну вагу конструкцій, людей, обладнання, сніг на галереї тощо) і забезпечують необхідну жорсткість настилу.
- Фундаменти: Під кожен сталеву колону запроектовано індивідуальний монолітний залізобетонний фундамент. Застосовано фундаменти стовпчастого типу: залізобетонні «склянки» або фундаментні блоки з анкерними групами. Орієнтовні розміри фундаменту під одну колону – 1,5×1,5 м по плану і глибиною залягання ~1,5–2,0 м (точні розміри визначаються розрахунком залежно від навантажень і несучої здатності ґрунту). Варіант «фундамент-склянка» передбачає бетонування стакана, в який потім встановлюється база сталеві колони і заливається розчином – такий спосіб полегшує монтаж. Альтернативно, може бути виконане анкерне кріплення: у фундамент заздалегідь монтуються анкерні болти (4–6 шт діаметром 24–30 мм) для фіксації металеві бази колони за допомогою гайок. Бетон для фундаментів класу не нижче С25/30 (М300), арматура – періодичного профілю класу А400 та вище, з об’ємним армуванням (каркаси колонних фундаментів). Фундаменти заглиблюються

нижче рівня промерзання ($\approx 0,8$ м) і спираються на стійкий ґрунт. Навколо фундаментів передбачений бетонний вимощення для відведення води. Розрахунок фундаментів враховує як вертикальні навантаження, так і моментні навантаження від рами (особливо важливо для крайніх колон при вітрові та сейсміці). Усі фундаменти взаємно не зв'язані між собою ростверками (кожна колона на окремій основі), але на рівні підлоги 0.000 жорсткість забезпечується перекриттям, яке об'єднує опори будівлі.

- Ферма навісу: Консольний навіс над трибунами – ключовий конструктивний елемент, що забезпечує покриття глядацьких місць. Навіс виконано у вигляді плоских сталевих ферм трапецієподібної форми. Кожна ферма спирається на дві крайні колони (в осях Б і В) і має значний винос вперед. Статична схема ферми – балка з консольними випусками на двох опорах. Проліт між опорами (відстань між колонами Б і В) – 6,0 м. Винос консольної частини над трибунами (в напрямку від осі Б в бік осі А) – близько 11,4 м. Це дозволяє повністю перекрити трибуну шириною 10 м і забезпечити ще невеликий козирок спереду ($\sim 1,4$ м) для захисту від косих дощів. З протилежного (заднього) боку за колоною осі В ферма має невеликий задній консольний виліт ~ 2 м, який слугує для врівноваження конструкції та розміщення опорних вузлів кріплення (задня консоль врівноважує момент від великої передньої консолі). Висота ферми змінна: більша біля опор і менша на консолі, аби оптимізувати матеріал і забезпечити необхідний профіль покрівлі (верхній пояс ферм піднятий біля осі В для створення ухилу даху). Орієнтовна висота ферми в середині прольоту $\sim 2,0$ м, по краях $\sim 1,0$ – $1,5$ м.

Ферми виготовлені з замкнутих профілів (сталевих труб квадратного або прямокутного перерізу), що надає конструкції кращої стійкості до кручення та естетичного вигляду. Наприклад, верхній і нижній пояси ферми – труби квадратного перерізу 180×180 мм і 140×140 відповідно, решітка (розкоси і стояки) – труби меншого перерізу, наприклад 120×120 мм чи 100×100 мм,

приварені до поясів. Крок установлення ферм по довжині трибуни – 6 м (ферма в кожній рамі над колоною). Між сусідніми фермами передбачені горизонтальні зв'язки у площині покриття: сталеві прогони, що з'єднують ферми та одночасно служать опорою для покрівельних панелей (див. розділ 1.7). Така система запобігає бічному відхиленню ферм і сприймає вітрові навантаження на навіс у поздовжньому напрямку. Кріплення ферми до колон – шарнірне (через спеціальні опорні вузли з пальцями або шарнірами), що дозволяє фермі вільно сприймати вигин без передачі значних моментів на колони (особливо актуально при сейсміці, коли консоль може коливатись). Вузол сполучення ферми з колоною виконується з накладними пластинами та високоміцними болтами або через приварювання закладних деталей – рішення приймається за результатами розрахунку й технологічних можливостей. В цілому, ферма розрахована на постійне навантаження від власної ваги і покрівлі, тимчасове (сніг) та вітрове навантаження (вітер зверху і знизу навісу). Міцність і жорсткість ферми перевірені на граничні стани, прогини консольної частини обмежені нормативами (порядку $L/150 \dots L/200$, де L – виліт консолі). Конструкція навісу вирішена таким чином, щоб мінімізувати навантаження на існуючі трибуни і фундаменти: відсутність передніх опор (консольна схема) означає, що не потрібні додаткові колони перед трибуною, які заважали б огляду поля, а вся вага передається назад – на нові фундаменти прибудови.

- Вузли кріплення та з'єднання елементів: З'єднання елементів металевого каркасу виконуються на болтах класу міцності не нижче 8.8 або шляхом зварювання (в заводських умовах). Основні вузли – це примикання балок до колон, стики балок по довжині (за потреби), кріплення зв'язків, а також вузли опирання ферм. Для забезпечення надійності з'єднань використано стандартні вузлові елементи: фасонні пластини, накладки, ребра жорсткості. У балкових вузлах (колона-балка) передбачені ребра жорсткості на колоні, що перерозподіляють навантаження від болтового з'єднання. Кріплення прогонів до ферм – болтове хомутами або на

приварених пластинах. Колони до фундаментів анкеруються сталевими анкерними болтами, передбачені регулювальні гайки для вертикального виставлення колон при монтажі. Всі болтові з'єднання після остаточного стягування захищаються від ослаблення (контргайки, весняні шайби або завальцювання). Зварні шви виконуються сертифікованими зварювальниками, контроль якості швів – візуальний та, за потреби, ультразвуковий (особливо у відповідальних вузлах навісу).

Конструктивні рішення гарантують надійну роботу споруди в умовах розрахункових навантажень. Використання сталевого каркасу дозволило зменшити масу надбудови над існуючими трибунами та спростити виконання робіт (монтаж здійснюється переважно зі сторони фасаду, без втручання в структуру трибуни). Всі елементи каркаса мають антикорозійний захист (грунтування і фарбування, оцинкування дрібних деталей), що забезпечує довговічність конструкцій за умов експлуатації на відкритому повітрі.

1.7. Покриття та навіс (конструкція ферми, прогони, настил, водовідведення)

Система покриття стадіону складається з двох частин: покриття прибудови (плоска експлуатована покрівля на рівні +6.000) та консольного навісу над трибуною, що є продовженням тієї ж покрівлі, але винесеним над глядацькі місця. Конструктивно і функціонально ці частини взаємопов'язані, утворюючи єдиний дах над прибудовою і трибуною.

Несуча конструкція навісу. Як зазначено вище, основою навісу є сталеві ферми трапецієподібного окреслення з прольотом 6 м і консольним вильотом ~11,4 м. Ферми встановлені з кроком 6 м, спираються шарнірно на колони заднього ряду прибудови (ось В) та на колони на стику з трибуною (ось Б). Верхній пояс ферм утворює скат даху: він підіймається від переднього краю трибуни до заднього краю прибудови, створюючи нахил приблизно 5°. Нижній

пояс ферм знаходиться приблизно горизонтально, щоб не заважати огляду з верхніх рядів трибун (тобто ферма "спадає" до фронту навісу). Всі ферми зв'язані між собою по верхньому поясу системою прогонів і горизонтальних зв'язків, що надає покриттю дискової жорсткості та дозволяє рівномірно розподіляти навантаження між фермами.

Прогони і настил покрівлі. Для опирання покрівельних сендвіч-панелей вздовж ферм влаштовано прогони з металевого прокату. В якості прогонів використовуються, наприклад, сталеві гарячекатані швелери №20 або спеціальні холодногнуті Z-профілі висотою ~200 мм. Прогони укладаються перпендикулярно до ферм (тобто вздовж довжини трибуни), кріпляться до верхніх поясів ферм болтовими з'єднаннями або зварюванням. Крок прогонів призначено з урахуванням несучої здатності покрівельних панелей – орієнтовно 1,5–3,0 м (згущення кроку ближче до консолі, де більший прогин, та біля опор). Покрівельні сендвіч-панелі товщиною 150 мм укладаються поверх прогонів у напрямку від тилу прибудови до краю навісу. Кріплення панелей до прогонів – самонарізними покрівельними гвинтами з герметизуючими шайбами, через верхню площину панелі (місця кріплення захищаються накладними планками або герметиком щоб уникнути протікання). Стик між панелями в поздовжньому напрямку герметизується заводськими замками з ущільнювачем, забезпечуючи суцільність покриття без щілин. Таким чином, створюється легка, але доволі жорстка настільна поверхня даху, що витримує снігові та експлуатаційні навантаження.

Покрівля експлуатованої тераси. Частина даху над прибудовою одночасно є підлогою галереї. Щоб поєднати гідроізоляційну функцію покрівлі і експлуатаційну функцію підлоги, передбачено спеціальну конструкцію настилу. Зазвичай застосовується або та ж сама покрівельна сендвіч-панель (розрахована на пішохідне навантаження), або монолітна залізобетонна плита по металевих балках, утеплена і гідроізольована верхнім шаром. У даному проєкті прийнято рішення з сендвіч-панелей підвищеної жорсткості, які здатні витримувати вагу

людей. На поверхню панелей на галереї додатково може наноситись протиковзке покриття (наприклад, гумові накладки або настил з дерев'яних решіток), щоб забезпечити безпеку руху глядачів і захистити панелі від зносу.

Водовідведення з даху. Навіс має односхилий напрям стоку – від тилу (ось В) до переднього краю над трибуною (ось А). Дощова вода з поверхні покрівельних панелей стікає до переднього краю навісу. Вздовж передньої кромки навісу влаштовано водостічний жолоб (ринва) з оцинкованої сталі, який збирає воду по всій довжині навісу. Жолоб кріпиться до нижнього поясу крайніх ферм або до спеціальних кронштейнів і має ухил до точок збору води. Кожні 12–18 м (кілька секцій між фермами) передбачено вертикальні водостічні труби, через які вода відводиться вниз. Труби прокладаються по задній стороні трибуни або вбудовуються в конструкцію колон, щоб не заважати проходу глядачів. Нижні кінці труб виводяться за трибуни (на західну сторону) і підключаються до підземної системи зливової каналізації. Таким чином, увесь дощовий стік з навісу відводиться організовано, не стікаючи безконтрольно по трибунах. Покрівля над прибудовою (галереєю) також має малий ухил до зовнішнього краю, тому опади через водоприймачі та трапи відводяться аналогічно – в зовнішні водостоки. В місцях виходу водостічних труб передбачені підігрівальні кабелі (електричні нагрівачі) для запобігання замерзанню води взимку.

Світлопропускання та освітлення навісу. Навіс переважно глухий (непрозорий), що добре захищає від сонця і дощу. Проте для забезпечення достатнього природного освітлення на трибунах можливе включення в покриття окремих прозорих елементів. За потреби, в конструкцію даху можна інтегрувати світлові вентиляційні ліхтарі або прозорі панелі з полікарбонату у верхній зоні навісу (невеликої площі, щоб не послабити несучу здатність). Це дасть змогу денному світлу частково проникати під навіс і створювати комфортне розсіяне освітлення глядацьких місць. В нічний час під навісом передбачено штучне освітлення: на фермах або прогонних балках закріплюються світильники (вологостійкі LED-прожектори) для освітлення трибун, а за потреби – і поля.

Таким чином, конструкція навісу виконує не лише покрівельну функцію, а й слугує основою для кріплення освітлювального та звукового обладнання стадіону (гучномовці, прожектори тощо).

У результаті прийняті рішення щодо покриття і навісу забезпечують надійний захист трибун від атмосферних впливів, ефективно водовідведення та довговічність конструкції даху. Навіс спроектовано з урахуванням естетичних вимог (тонкий профіль ферми, мінімум опор, можливість інтеграції освітлення) і інженерних критеріїв (стійкість при вітрових навантаженнях, мінімізація сейсмічних впливів на трибуну). Його наявність суттєво покращить умови експлуатації стадіону, дозволяючи проводити матчі та заходи під час дощу або палкого сонця, зберігаючи комфорт глядачів.

1.8. Інженерне обладнання (водопостачання, каналізація, опалення, вентиляція, електропостачання)

Проектом передбачено підключення новозбудованих приміщень стадіону до існуючих інженерних мереж міста та облаштування внутрішніх інженерних систем, необхідних для функціонування спортивної споруди. Інженерне обладнання запроектоване з урахуванням нормативів для громадських будівель і специфіки спортивного об'єкту.

Водопостачання та каналізація. Система холодного водопостачання підключається до міського водогону необхідної продуктивності. Ввод води в будівлю здійснюється через тепловий пункт або вузол вводу, розташований на першому поверсі (технічне приміщення). Вода подається на душові, санвузли, буфет та інші точки споживання. Для гарячого водопостачання передбачено автономне рішення: встановлення електричних бойлерів в зоні душових кімнат і буфету. Ємність бойлерів розрахована на пікове споживання (одночасне користування душами після матчу тощо). Гаряча вода підводиться до змішувачів душових та умивальників. Система каналізації – господарсько-побутова, збирає

стоки від душових, умивальників, санвузлів, буфету. Внутрішня каналізаційна мережа виконується пластиковими трубами (ПВХ Ø110 мм для стояків, Ø50 мм для підключення приладів). Стояки каналізації розташовані компактно біля санітарних вузлів, на першому поверсі передбачено випуски в зовнішню мережу. Злив господарсько-побутових стоків підключається до міської каналізаційної мережі на межі ділянки стадіону. Також передбачено дренажні лотки і трапи в душових (в підлозі) для збору води, підключені до каналізації. Водовідведення дощових вод з покрівлі описане в розділі 1.7 (зовнішня зливово каналізація). В цілому, система ВК (водопостачання і каналізація) забезпечує безперебійне постачання води потрібної якості та відведення стоків, враховуючи нерівномірний режим роботи (найбільші навантаження під час масових заходів, мінімальні – в міжсезоння).

Опалення та вентиляція. Опалення приміщень адміністративно-побутового блоку може здійснюватися двома альтернативними способами:

- Електричне опалення – встановлення електроконвекторів або інших електронагрівальних приладів в приміщеннях (настінні або підлогові конвектори з термостатами). Це рішення не вимагає котельні, але споживає значну електричну потужність, тому має бути узгоджене з наявними лімітами електропостачання.
- Опалення від автономної котельні – проектом передбачена можливість влаштування модульної газової котельні малої потужності (наприклад, дахової котельні на даху прибудови або окремого блочно-модульного котла поруч зі стадіоном). Котельня забезпечувала б підігрів води в системі опалення (радіатори або тепла підлога) та могла б суміщатися з приготуванням гарячої води для душових. На момент проектування перевага віддана електроопаленню як простішому в реалізації та екологічнішому (відсутність викидів на місці).

Вентиляція приміщень комбінована. У приміщеннях, де це можливо, використовується природна вентиляція через вікна, кватирки (офіси, буфет, зал

тренувань можуть провітрюватися природно). Однак, для санітарних вузлів, душових, роздягалень передбачено обов'язкову механічну припливно-витяжну вентиляцію. В душових та туалетах встановлюються витяжні вентиляційні канали з електровентиляторами, які викидають вологе повітря назовні (через дах або стіну будівлі). Приплив свіжого повітря до цих приміщень здійснюється через решітки в дверях або стінах з суміжних коридорів, де повітря оновлюється природним шляхом. В роздягальнях велике скупчення людей і періодично волога після душу, тому там також доцільна припливно-витяжна система: припливні вентилятори подають підігріте повітря, а витяжні – видаляють відпрацьоване (з відносно більшим вмістом CO₂ та вологи). У залі тренажерної під час активних занять генерується тепло і CO₂, тому його вентиляція може здійснюватися природно через відкриті фрамуги та додатково забезпечуватися витяжним вентилятором під стелею. У холодний період року припливне повітря рекомендовано підігрівати (електричними калориферами або теплообмінником від котла, якщо є), щоб не охолоджувати приміщення.

Електропостачання та освітлення. Стадіон підключений до міської електромережі через існуючу трансформаторну підстанцію (ТП), розташовану на території спорткомплексу або поблизу. Проектом передбачено збільшення споживаної потужності для потреб нових приміщень (освітлення, опалення, вентиляція) – відповідно виконано технічні умови на приєднання додаткової потужності. Ввід електрокабелю в будівлю здійснюється в електрощитову на першому поверсі, де встановлено ввідний автомат, лічильники та розподільчі щити на групи. Електричні мережі всередині будівлі монтуються мідними кабелями з прихованою прокладкою в металорукавах або коробах (у пожежонебезпечних зонах – в негорючих коробах). Силове електрообладнання (насоси, вентиляція, буфет) підключається окремими лініями.

Освітлення в будівлі та на трибунах передбачено наступне:

- Робоче освітлення – основне постійне освітлення всіх приміщень і території. В приміщеннях використовуються світлодіодні світильники

стельового або настінного типу, що забезпечують нормовану освітленість (не менше 200 лк в роздягальнях, 300 лк в офісах, 150 лк в коридорах). На галереї та під навісом – вологозахищені LED-світильники, розташовані вздовж проходів.

- Аварійне освітлення – частина світильників підключена до аварійного джерела живлення (акумуляторних блоків або дизель-генератора, якщо передбачений), яке вмикається при зникненні основної електрики. Аварійне освітлення забезпечує мінімальний рівень світла для безпечної евакуації (не менше 1–5 лк на підлозі шляхів евакуації).
- Евакуаційне освітлення та знаки – уздовж маршрутів евакуації встановлюються світлові покажчики «Вихід» з автономним живленням, які світяться постійно і особливо при вимкненні живлення. Такі покажчики розташовані над виходами з трибуни, при виході на сходи 1-2, 12-13 та біля основних дверей першого поверху.
- Зовнішнє освітлення – для безпеки в темну пору доби передбачено освітлення прилеглої території: прожектори на фасаді прибудови, що освітлюють пожежний проїзд і тротуари, а також опори освітлення уздовж пішохідних доріжок до виходів зі стадіону. Світильники зовнішнього освітлення – енергоощадні, з датчиками сутінків (автоматично вмикаються вночі).

Окрім освітлення, електропостачання охоплює живлення системи охоронно-пожежної сигналізації, системи оповіщення (гучномовці на стадіоні), можливе табло або мультимедійне обладнання. Всі ці системи заживлюються від розподільчого щита з резервуванням на випадок аварії. Електробезпека забезпечується системою заземлення: прокладено контур заземлення навколо будівлі, всі металеві конструкції, електрощити, а також блискавкоприймачі навісу підключені до нього. Блискавкозахист навісу – активна або пасивна система молниєвідводів (штирі на найвищих точках ферм, з'єднані зі спусками на землю).

Запроектоване інженерне обладнання гарантує комфортні умови експлуатації стадіону. Всі системи взаємопов'язані і керовані згідно з вимогами (наприклад, передбачено центральний пульт пожежної сигналізації, можливість автоматичного ввімкнення аварійного освітлення, регулювання мікроклімату тощо). Використано енергоефективні технології – світлодіодне освітлення, теплоізовані трубопроводи, автоматичні вимикачі для вентиляції – що зменшує експлуатаційні витрати.

1.9. Протипожежні заходи

Проект реконструкції враховує комплекс вимог пожежної безпеки, які застосовуються до спортивних споруд масового перебування людей. Будівля трибуни відноситься до IIIа ступеня вогнестійкості (металевий каркас з захистом, несучі елементи з межею вогнестійкості не менше R 45—60), категорія пожежної небезпеки – Ф1.1 (споруди для глядачів). Основні заплановані протипожежні заходи такі:

- Евакуація глядачів та персоналу: Конструкція трибуни забезпечує кілька шляхів евакуації. Основні виходи для глядачів – через відкриту галерею на відм. +6.000 до евакуаційних сходів в торцях прибудови (ось 1-2 і 12-13), які ведуть безпосередньо на рівень землі. Ширина маршів сходів не менше 1,35 м, двері на виходах відчиняються за напрямком виходу. Додатково, глядачі з нижніх рядів можуть евакуюватися вперед з трибуни (на футбольне поле, якщо це передбачено планом евакуації, через розриви в огорожі). Для персоналу і спортсменів основні виходи – через двері першого поверху на західний бік будівлі. Евакуаційні проходи в середині будівлі (коридори) мають ширину не менше 1,4 м, двері з приміщень – мінімум 0,8–0,9 м. Максимальна розрахункова кількість людей на трибуні визначається за кількістю сидячих місць (~3000), і пропускна спроможність шляхів евакуації забезпечує їх вихід протягом нормативного

часу (не більше 8 хв). У нічний час або при задимленні евакуацію полегшать системи аварійного освітлення та звукового оповіщення.

- **Вогнестійкість конструкцій:** Негорюча конструктивна схема – важлива складова безпеки. Всі основні несучі елементи (сталеві колони, балки, ферми) покриті вогнезахисними матеріалами для досягнення необхідної межі вогнестійкості. Застосовано облицювання сталевих колон спеціальними вогнезахисними фарбами або штукатурками, що забезпечують R 60 (60 хвилин витримки у вогні без втрати несучої здатності). Для балок та ферм навісу, враховуючи меншу масивність, нормативна межа – R 30, яка досягається нанесенням товстошарової інтумицентної фарби. Сендвіч-панелі стін мають утеплювач з мінеральної вати (негорючий матеріал групи НГ), облицювання – метал, тобто стіни класифікуються як важкогорючі з межами вогнестійкості не менше EI 15...30 (цього достатньо, оскільки вони не є несучими). Внутрішні перегородки з газобетону теж негорючі і забезпечують межу вогнестійкості близько EI 120 (для 200 мм газобетону). Таким чином, при можливому пожежі конструкція будівлі зберігає стійкість принаймні протягом часу, необхідного для евакуації людей і початку гасіння.
- **Пожежна сигналізація та оповіщення:** У будівлі впроваджується автоматична пожежна сигналізація. В усіх приміщеннях, особливо в роздягальнях, буфеті, коморах, встановлюються пожежні сповіщувачі (димові або теплові), що підключені до централізованої сигналізаційної панелі. При спрацюванні сигналізації подається звуковий та світловий сигнал тривоги. Одночасно система оповіщення передає через гучномовці повідомлення про необхідність евакуації (як для глядачів на трибунах, так і для людей у приміщеннях). Гучномовці розташовані по периметру трибун і в коридорах. Передбачено резервне живлення системи сигналізації (акумулятори), щоб вона функціонувала навіть при відключенні електроенергії.

- Первинні засоби пожежогасіння: В будівлі запроектовано розміщення вогнегасників та пожежних кранів. На кожному поверсі (0.000 і +3.000) біля виходів або в коридорах встановлюються пожежні щити або шафи, в яких розміщено: вогнегасники (порошкові ВП-5 або вуглекислотні ВВК-5 – не менше 2 шт на поверх), пожежний кран-комплект (за наявності водопроводу потрібного тиску – підключення до внутрішньої системи діаметром 50 мм з брезентовим рукавом довжиною 20 м і стволом), а також ручний інвентар (совкові лопати, багри, відра, ящик з піском). В роздягальнях і технічних приміщеннях також повинні бути переносні вогнегасники. Усі співробітники стадіону проходять інструктаж з користування первинними засобами пожежогасіння.
- Планування і протипожежні розриви: Новий блок прибудовано до існуючих трибун, які самі по собі є земляним насипом і не становлять пожежного навантаження. Відстань від прибудови до інших будівель на території (наприклад, допоміжних споруд стадіону) витримано згідно норм (як правило, не менше 9 м для будівель III ступеня вогнестійкості). Проектом враховано протипожежні розриви до трибун з інших боків поля, щоб у разі пожежі на західній трибуні вогонь не перекинувся на східну (вони розділені відкритим полем). У середині прибудови протипожежні перешкоди виконано у вигляді протидимних перегородок: наприклад, двері сходових кліток – протипожежні з класом не нижче EI 30, самі сходові клітки мають вихід назовні і прирівнюються до незадимлюваних.
- Пожежний водопостачальний запас та під'їзди: Як зазначалося, навколо стадіону влаштовано пожежний об'їзд, що дає можливість пожежним машинам під'їхати до трибуни з західного боку на відстань необхідну для подачі води. На території спортивного комплексу наявні пожежні гідранти, підключені до міської водомережі: мінімальна розрахункова витрата на зовнішнє пожежогасіння для даного об'єкту (площа трибуни < 5000 м²) становить 10 л/с, що забезпечується двома гідрантами. У випадку пожежі

пожежні машини можуть стати на гідранти і подати воду через рукави на навів чи всередину прибудови. Шляхи для розгортання пожежних рукавів вільні від заставленості, проїзди мають тверде покриття і достатню ширину.

Загалом, впровадження цих протипожежних заходів гарантує, що реконструйована трибуна відповідатиме вимогам ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» та інших нормативних документів. У разі виникнення пожежі люди зможуть безпечно евакуюватися, а конструкції збережуть стійкість, що мінімізує матеріальні втрати і сприяє успішному гасінню. Організація експлуатації стадіону передбачає регулярні навчання персоналу з пожежної безпеки, наявність планів евакуації, справність засобів пожежогасіння – все це буде відображено у відповідних розділах проєктної документації та регламентах експлуатації об'єкту.

1.10. Енергоефективність та комфорт

Запроєктовані архітектурно-планувальні та інженерні рішення спрямовані на забезпечення високої енергоефективності будівлі та комфортних умов перебування для всіх користувачів стадіону. Використання сучасних матеріалів і технологій дозволяє знизити експлуатаційні витрати та підвищити зручність експлуатації споруди.

Теплова ізоляція та енергозбереження. Як зазначалося, зовнішні огорожувальні конструкції (стіни, покрівля) мають ефективну теплоізоляцію у вигляді шарів мінеральної вати товщиною 150 мм. Це суттєво зменшує теплові втрати взимку та нагрів приміщень влітку. Розрахунки показують, що опір теплопередачі стін і даху перевищує нормативний, отже будівля потребує менше енергії на опалення. Вікна з двокамерними склопакетами та енергозберігаючим напиленням мінімізують втрати тепла через скління, а влітку – перешкоджають надмірному проникненню сонячної радіації (інфрачервоного випромінювання),

що знижує навантаження на кондиціонування. Двері та ворота утеплені і обладнані ущільнювачами, що запобігають інфільтрації холодного повітря. Усі стики панелей, рам, прилягання конструкцій виконані герметичними, виключаючи неконтрольовані теплоповітряні протікання.

Враховуючи сумарні показники утеплення та інженерного обладнання, будівля прибудови відповідає підвищеному класу енергоефективності (орієнтовно В або А за прийнятими в Україні критеріями, залежно від фактичного споживання енергії на опалення). Це означає зменшення викидів CO₂ (якщо використовується електрика з відновлюваних джерел або централізоване опалення з ефективною генерацією) та економічну вигоду через менші рахунки за енергоносії.

Розділ 2. РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

2.1. Методика розрахунку та вихідні дані

Розрахунок несучих конструкцій виконано за методом граничних станів відповідно до вимог ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [7] та ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [4]. Клас наслідків (відповідальності) об'єкта - СС2.

Для розрахунку прийнято наступні характеристики матеріалів:

Сталь: С345 (09Г2С) для несучих елементів каркаса.

Розрахунковий опір: $R_y = 335$ МПа ($33,5$ кН/см²).

Модуль пружності: $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа.

Коефіцієнт надійності за відповідальністю: $\gamma_n = 1,1$ (для 1-ї групи граничних станів)

2.1.1. Вихідні дані

Приймаємо збільшену власну вагу металоконструкцій (з урахуванням вузлових деталей, фланців та в'язей).

Крок ферм: $B = 6,0$ м.

2.1.2. Розрахунок навантажень

Збір навантажень виконано на 1 м² горизонтальної проекції покриття. Вантажна ширина для ферми - $6,0$ м.

Таблиця 2.1 - Навантаження на покриття

Вид навантаження	Нормативне, кН/м ²	γ_{fm}	Розрахункове, кН/м ²
1. Постійні			
Вага сендвіч-панелей (150 мм)	0,25	1,2	0,30
Вага прогонів (швелер 18П)	0,18	1,05	0,19

Продовження таблиці 2.1

Власна вага ферми	0,45	1,05	0,47
Разом постійне (g):	0,88	-	0,96
2. Тимчасові (м. Ужгород)			
Снігове (S ₀ , 2 район)	1,34	1,14	1.53
Разом повне вертикальне (q_E):	2,22	-	2,49

2.1.3. Визначення вузлових навантажень на ферму

Навантаження передається через прогони у вузли. Крок вузлів $a = 2,0$ м.
Крок ферм $B = 6,0$ м. Розрахункове вузлове навантаження:

$$P = q_E \cdot B \cdot a \cdot \gamma_n = 2,49 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 1,1 = 32,87 \text{ кН}$$

2.2. Розрахунок сталевого прогону

Проліт: $L = 6,0$ м. Крок: $a = 2,0$ м.

Лінійне навантаження:

$$q_{lin} = 2,49 \cdot 2 \cdot 1,1 = 5,48 \text{ кН/м}$$

Максимальний момент:

$$M_{max} = \frac{5,48 \cdot 6^2}{8} = 24,66 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Необхідний момент опору:

$$W_{req} = \frac{24,66 \cdot 100}{33,5 \cdot 0,95} = 77,5 \text{ см}^3$$

Прийнято: Швелер 18П ($W_x = 121 \text{ см}^3$). Запас міцності $>5\%$.

2.3. Розрахунок кроквяної ферми

2.3.1. Вихідні дані та геометрична схема

Ферма запроєктована як плоска геометрично незмінювана стрижнева система трапецієвидного окреслення. Статична схема — однопролітна балка з консоллю на двох опорах.

Геометричні параметри:

- Загальна довжина ферми: $L_{tot} = 19,4$ м.
- Розрахунковий проліт (база) між опорами: $L_{base} = 6,0$ м.
- Консольний виліт (над трибунами): $L_{cons} = 11,4$ м.
- Задній звис (консоль): $L_{back} = 2,0$ м.
- Висота ферми над передньою опорою К1: $H_{max} = 1748$ мм $\sim 1,75$ м.
- Висота на вільному кінці консолі: $H_{min} = 600$ мм.
- Крок вузлів (панелей) по верхньому поясу: $a = 2,0$ м.
- Кут нахилу верхнього поясу: $\alpha \sim 5,7^\circ$ ($i = 0,1$).

2.3.2. Визначення розрахункових зусиль (Статичний розрахунок)

Навантаження на ферму передається через прогони у вигляді зосереджених сил у вузлах верхнього поясу. Розрахункове навантаження на вузол (з урахуванням власної ваги, снігу та коефіцієнта надійності $\gamma_n = 1,1$):

$$P = q_E \cdot B \cdot a \cdot \gamma_n = 2,49 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 1,1 = 32,87 \text{ кН} \quad (2.1)$$

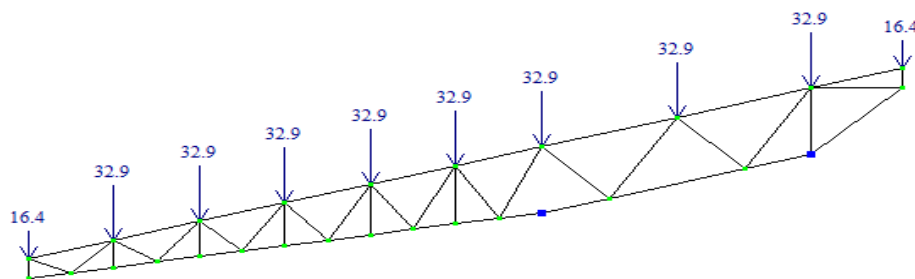


Рис.2.1. Розрахункова схема ферми

А) Визначення опорних реакцій: Розглядаємо рівновагу системи відносно опор А (передня, К1) та В (задня, К2). Замінімо зосереджені сили еквівалентним рівномірно розподіленим навантаженням:

$$q = \frac{P}{a} = \frac{32,87}{2,0} = 16,44 \text{ кН/м}$$

Рівняння моментів відносно опори А ($\sum M_A = 0$): Момент від консолі (обертає проти годинникової стрілки) врівноважується моментом від реакції опори В та навантаження в прольоті.

$$M_{cons} - M_{span} - R_B \cdot L_{base} = 0 \quad (2.2)$$

$$q \frac{L_{cons}^2}{2} - q \frac{L_{base}^2}{2} - R_B \cdot 6 = 0$$

$$16,44 \frac{11,4^2}{2} - 16,44 \frac{6^2}{2} = R_B \cdot 6$$

$$1068,1 - 295,9 = R_B \cdot 6$$

$$772,2 = R_B \cdot 6 \Rightarrow R_B = 128,7 \text{ кН}$$

Перевірка вертикальних сил ($\sum Y = 0$):

$$R_A - R_B - q \cdot L_{tot} = 0$$

$$R_A = 128,7 + 16,44 \cdot 19,4 = 447,6 \text{ кН}$$

Б) Визначення згинального моменту в перерізі над опорою А: Переріз проходить безпосередньо над колоною К1. Згинальний момент тут максимальний.

$$M_{max} = q \frac{L_{cons}^2}{2} = 16,44 \frac{11,4^2}{2} = 1068,1 \text{ кНм} \quad (2.3)$$

В) Зусилля в поясах ферми (Метод розкладання моменту): Зусилля в поясах можна знайти, розділивши згинальний момент на робочу висоту ферми (h_0) у даному перерізі. Висота ферми на опорі $h = 1,75$ м. Відстань між центрами тяжіння поясів (робоча висота):

$$h_0 \approx h - 2z_0 \approx 1,75 - 0,18 = 1,57 \text{ м}$$

Зусилля в нижньому поясі (стиск):

$$N_{bot} = -\frac{M_{max}}{h_0} = -\frac{1068,1}{1,57} = -680,4 \text{ кН} \quad (2.4)$$

Зусилля у верхньому поясі (розтяг):

$$N_{top} = \frac{M_{max}}{h_0} = \frac{1068,1}{1,57} = 680,4 \text{ кН} \quad (2.5)$$

Г) Розрахунок зусиль у опорному розкосі: Опорний розкіс сприймає поперечну силу Q_{max} . Геометрія розкосу:

Горизонтальна проекція: $l_x = 2$ м

Вертикальна проекція: $l_y = 1,5$ м

Довжина розкосу: $l_d = \sqrt{2^2 + 1,5^2} = 2,5$ м

Синус кута нахилу: $\sin a = 1,5/2,5 = 0,6$

Зусилля в розкосі (стиск):

$$N_{diag} = \frac{Q_{max}}{\sin a} = -\frac{187,4}{0,6} = -312,3 \text{ кН} \quad (2.6)$$

2.3.3. Перевірка перерізів елементів (ДБН В.2.6-198:2014)

1. Нижній пояс (Елемент Н-1)

Працює на центральний стиск. Вихідні дані:

Розрахункове зусилля: $N_{bot} = -680,4$ кН.

Розрахункова довжина (з площини ферми): $L_{ef} = 6000$ мм

Приймаємо переріз: Труба квадратна 180x180x8 мм.

Площа $A = 54,1 \text{ см}^2$

Радіус інерції $i = 7,05 \text{ см}$

Перевірка стійкості:

1. Гнучкість:

$$\lambda = \frac{L_{ef}}{i} = -\frac{600}{7,05} = 85,1 \quad (2.7)$$

2. Умовна гнучкість:

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 85,1 \cdot \sqrt{\frac{335}{206000}} = 3,43 \quad (2.8)$$

3. Коефіцієнт стійкості φ : За табл. для кривої «с» при $\bar{\lambda} = 3,43$
 $\rightarrow \varphi = 0,562$.

4. Перевірка напружень:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{680,4 \cdot 10^3}{0,562 \cdot 54,1 \cdot 100} = 223,7 \text{ МПа} \quad (2.9)$$

$$223,7 \text{ МПа} < 335 \cdot 0,95 = 318,2 \text{ МПа}$$

Висновок: Стійкість нижнього поясу забезпечена. Коефіцієнт використання $K = 0,70$.

2. Верхній пояс (Елемент В-1)

Працює на осьовий розтяг. Вихідні дані:

Розрахункове зусилля: $N_{bot} = +680,4 \text{ кН}$.

Приймаємо переріз: Труба квадратна 140x140x6 мм.

Площа $A = 32,5 \text{ см}^2$

1. Перевірка міцності:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{680,4 \cdot 10^3}{32,5 \cdot 100} = 209,4 \text{ МПа} \quad (2.9)$$

$$209,4 \text{ МПа} < 318,2 \text{ МПа}$$

Висновок: Міцність верхнього поясу забезпечена.

3. Опорний розкіс (Елемент Р-1)

Працює на стиск. Вихідні дані:

Розрахункове зусилля: $N_{bot} = -312,3 \text{ кН}$.

Розрахункова довжина: $L_{ef} = 0,9 \cdot 250 = 225 \text{ мм}$

Приймаємо переріз: Труба квадратна 100x100x5 мм.

Площа $A = 19,1 \text{ см}^2$

Радіус інерції $i = 3,85 \text{ см}$

Перевірка стійкості:

1. Гнучкість:

$$\lambda = \frac{L_{ef}}{i} = \frac{225}{3,85} = 58,4 \quad (2.10)$$

2. Умовна гнучкість:

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 58,4 \cdot \sqrt{\frac{335}{206000}} = 2,35 \quad (2.11)$$

3. Коефіцієнт стійкості φ : За табл. для кривої «с» при $\bar{\lambda} = 2,35$

$$\rightarrow \varphi = 0,761.$$

4. Перевірка напружень:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{312,3 \cdot 10^3}{0,761 \cdot 19,1 \cdot 100} = 214,8 \text{ МПа} \quad (2.12)$$

$$214,8 \text{ МПа} < 318,2 \text{ МПа}$$

Висновок: Стійкість розкосу забезпечена.

2.3.4. Розрахунок зварних швів (Вузол примикання розкосу)

Перевіряємо міцність швів кріплення опорного розкосу до поясу ферми.

Зусилля: $N = 312,3$ кН.

Спосіб зварювання: напівавтоматичне, дріт Св-08Г2С

Розрахунковий опір металу шва: $R_{wf} = 215$ МПа.

Катет шва: $k_f = 6$ мм.

Коефіцієнти: $\beta_f = 0,9$; $\gamma_{wf} = 1,0$.

Розрахункова довжина швів: Шов виконується по контуру труби 100x100.

Ефективно працюють поздовжні та поперечні ділянки.

$$l_w = 2 \cdot \left(100 + \frac{100}{\sin 45^\circ} \right) - 30 \approx 450 \text{ мм}$$

Умова міцності:

$$\tau = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c \quad (2.13)$$

$$\tau = \frac{312,3 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 6 \cdot 450} = 128,5 \text{ МПа}$$

$$128,5 \text{ МПа} < 215 \text{ МПа}$$

Висновок: Міцність зварних з'єднань решітки забезпечена при катеті шва $k_f = 6$ мм.

2.4. Розрахунок колон каркаса

2.4.1. Колона К1 (вісь Б) - Основна

Колона є найбільш завантаженим елементом каркаса. Вона сприймає навантаження від:

1. Покриття (опорна реакція ферми навісу).
2. Міжповерхових перекриттів (2 рівні)
3. Ригелів трибун.

А) Вихідні дані:

Висота колони: $H = 9,2$ м.

Схема: Жорстко защемлена в фундаменті, шарнірно з'єднана з ригелями.

Матеріал: Сталь С345 ($R_y = 33,5$ кН/см²).

Прийнятий переріз: Двотавр колонний 35К1.

Площа перерізу: $A = 139,7$ см².

Момент опору: $W_x = 1660$ см³.

Радіус інерції: $i_x = 15,1$ см; $i_y = 6,16$ см (мінімальний).

Б) Збір розрахункових навантажень (N):

1. Від покриття (Навіс): Опорна реакція ферми (з розрахунку в п. 2.3.3):

$$N_{ferm} = R_A = 447,6 \text{ кН}$$

2. Від міжповерхових перекриттів: Вантажна площа: $A_{fl} = 6,0 \times 3,0 = 18,0$ м² (половина прольоту прибудови). Навантаження (власна вага + корисна): $q = 10$ кПа. Кількість перекриттів: 2 (відм. +3.000, +6.400).

$$N_{floor} = 10 \cdot 18 \cdot 2 = 360,0 \text{ кН}$$

3. Від трибун (через ригелі): Колона К1 підтримує верхню частину трибун. Вантажна ширина $B = 6,0$ м. Вантажна довжина (спирання на ригель) $4,0$ м.

Вага з/б сходинок ($0,5$ т/м²): $5,0$ кПа

Корисне навантаження (натовп): $4,0 \cdot 1,2 = 4,8$ кПа.

Разом на трибуни: $q_{tr} = 9,8$ кПа.

Зусилля на колону:

$$N_{trib} = q_{tr} \cdot 6 \cdot 4 = 235,2 \text{ кН}$$

Вага ригеля (двотавр 40Б1, $L=6$ м): $N_{rig} = 0,6 \cdot 6 \cdot 1,05 = 3,8$ кН.

$$N_{tr} = 235,2 + 3,8 = 239 \text{ кН}$$

4. Власна вага колони ~ 25 кН

Сумарна стискаюча сила:

$$N_{\Sigma} = 447,6 + 360 + 239 + 25 = 1071,6 \text{ кН}$$

Розрахунковий згинальний момент (M_x): Виникає від вітрового навантаження на фасад та ексцентриситету опирання ригелів. За результатами статичного розрахунку рами:

$$M_x = 65 \text{ кНм}$$

В) Перевірка стійкості колони

1. Геометричні характеристики: Розрахункова довжина в площині рами (защемлення-шарнір, $\mu=0,7$):

$$L_{ef,x} = 0,7 \cdot 920 = 644 \text{ см}$$

Розрахункова довжина з площини рами (розкріплення перекриттям на відм. +6.400):

$$L_{ef,y} = 640 \text{ см}$$

2. Перевірка стійкості у площині дії моменту (плоска форма вигину):

$$\text{Гнучкість } \lambda_x = \frac{644}{15,1} = 42,6$$

$$\text{Умовна гнучкість } \bar{\lambda}_x = 42,6 \sqrt{\frac{33,5}{206000}} = 1,72$$

Відносний ексцентриситет:

$$e = \frac{M}{N} = \frac{6500}{1071,6} = 6,06 \text{ см} \quad (2.14)$$

$$m_x = \frac{e \cdot A}{W_x} = \frac{6,06 \cdot 139,7}{1660} = 0,51 \quad (2.15)$$

Приведений ексцентриситет (за табл. Д.2 ДБН [7]): $m_{ef} \sim 0,75$.

Коефіцієнт стійкості при позацентровому стиску φ_e : При $\bar{\lambda}_x = 1,72$ та $m_{ef} = 0,75 \rightarrow \varphi_e = 0,68$.

Перевірка:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_e \cdot A} = \frac{1071,6 \cdot 10^3}{0,68 \cdot 139,7 \cdot 100} = 112,8 \text{ МПа}$$

$$112,8 \text{ МПа} < 318,2 \text{ МПа}$$

Запас міцності $> 5\%$.

3. Перевірка стійкості з площини дії моменту (відносно осі у-у): Це перевірка як центрально-стиснутого стрижня, оскільки момент діє в іншій площині. Визначальним є мінімальний радіус інерції i_y .

$$\text{Гнучкість } \lambda_x = \frac{640}{6,16} = 103,9$$

$$\text{Умовна гнучкість } \bar{\lambda}_x = 103,9 \sqrt{\frac{33,5}{206000}} = 4,15$$

Коефіцієнт стійкості φ_y (для типу перерізу «b»): При $\bar{\lambda}_y = 4,15 \rightarrow \varphi_y = 0,472$.

Коефіцієнт впливу моменту $c = 1$.

Перевірка:

$$\sigma = \frac{N}{c \cdot \varphi_y \cdot A} = \frac{1071,6 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,472 \cdot 139,7 \cdot 100} = 162,5 \text{ МПа}$$

$$162,5 \text{ МПа} < 318,2 \text{ МПа}$$

Запас міцності $> 5\%$.

Висновок: Несуча здатність колони 35К1 забезпечена. Коефіцієнт використання $K = 162,5/318 = 0,51$. Обраний переріз має достатній запас для сприйняття додаткових сейсмічних навантажень (які можуть збільшити зусилля на 20-30%).

2.4.2. Колона К2 (вісь В) - Фахверкова колона

Колона сприймає навантаження від перекриттів та реакцію ферми (яка на цій опорі працює "на відрив"). Вихідні дані:

Переріз: Двотавр 30К1. ($A = 108 \text{ см}^2$).

Розрахункове зусилля стиску (сніг + корисне): $N_{\max} = 550 \text{ кН}$.

Розрахункове зусилля розтягу (вітер + власна вага): $N_t = 150 \text{ кН}$.

Перевірка на стійкість (Стиск): Аналогічно до К1, визначальним є розрахунок з площини рами.

$$\sigma = \frac{550 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 108 \cdot 100} = 101 \text{ МПа} < 318,2 \text{ МПа}$$

Висновок: Колона 30К1 прийнята конструктивно для уніфікації та забезпечення жорсткості торцевих стін.

РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ ТА ФУНДАМЕНТИ

3.1. Інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови майданчика

3.1.1. Геоморфологічна характеристика

Майданчик будівництва (реконструкції) стадіону розташований у м. Ужгороді, в межах паркової зони «Підзамковий». У геоморфологічному відношенні ділянка приурочена до надзапlavної тераси річки Уж. Рельєф майданчика спокійний, спланований, з незначним ухилом для відведення поверхневих вод. Абсолютні відмітки поверхні землі коливаються в межах 118,50...119,20 м.

Кліматичний район будівництва – III-A (згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010).

Нормативна глибина промерзання ґрунту для даного району складає 0,8 м.

3.1.2. Характеристика ґрунтових нашарувань

На основі звіту про інженерно-геологічні вишукування, виконаного для даного об'єкта, геологічний розріз до розвіданої глибини 10,0 м представлений наступними інженерно-геологічними елементами (ІГЕ):

ІГЕ-1: Насипний ґрунт (tQIV).

Суміш ґрунтів різного походження (суглинок, пісок, будівельне сміття, бита цегла) з включенням коріння рослин. Шар нерівномірний за складом та щільністю, злежаний (насипаний понад 10 років тому).

- Потужність шару: 0,8...1,2 м.
- Характеристика: Сильностисливий, неоднорідний. Як основа для фундаментів не рекомендується. Підлягає прорізці або частковій заміні.

ІГЕ-2: Суглинок тугопластичний (alQIII).

Четвертинні алювіальні відклади. Колір жовто-бурий, з прошарками піску.

- Потужність шару: 1,5...2,2 м.
- Щільність ґрунту $\rho = 1,85 \text{ г/см}^3$.

- Кут внутрішнього тертя $\varphi_{II} = 21^{\circ}$.
- Питоме зчеплення $c_{II} = 22$ кПа.
- Модуль деформації $E = 16$ МПа.
- Коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,35$.

ІГЕ-3: Гравійний ґрунт (alQII).

Великоуламковий ґрунт із піщаним заповнювачем (галечник). Залягає під суглинками. Характеризується високою несучою здатністю та низькою стисливістю.

- Потужність шару: розкрита до 6,0 м (підшва шару не розкрита).
- Щільність ґрунту $\rho = 2,10$ г/см³.
- Кут внутрішнього тертя $\varphi_{II} = 38^{\circ}$.
- Питоме зчеплення $c_{II} = 1$ кПа.
- Модуль деформації $E = 45$ МПа.
- Розрахунковий опір $R_0 = 350-400$ кПа.

Таблиця 3.1 – Нормативні та розрахункові характеристики ґрунтів

№ ІГЕ	Найменування ґрунту	Щільність ρ , т/м ³	Вологість W , д.о.	Показник текучості IL	Кут вн. тертя φ , град	Зчеплення c , кПа	Модуль деформації E , МПа
1	Насипний	1,65	-	-	-	-	8
2	Суглинок тугопл.	1,85	0,21	0,35	21	22	16
3	Гравійний ґрунт	2,1	0,16	-	38	1	45

3.1.3. Сейсмічні умови майданчика

Згідно з ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України», місто Ужгород відноситься до сейсмічно активної зони.

- Сейсмічність майданчика (карта ЗСР-2004-А): **7 балів**.
- Категорія ґрунтів за сейсмічними властивостями: **II категорія** (згідно з табл. 1.1 ДБН В.1.1-12:2014, оскільки швидкість поширення поперечних хвиль у шарі ПЕ-3 знаходиться в межах $400 < V < 700$ м/с).
- Уточнення сейсмічності: З урахуванням II категорії ґрунтів, розрахункова сейсмічність майданчика приймається рівною **7 балам**.

3.1.4. Гідрогеологічні умови

На період вишукувань ґрунтові води зустрінуті на глибині 5,8...6,2 м від поверхні землі. Прогнозний максимальний рівень може підніматися до відмітки -4,5 м. Оскільки проектна відмітка низу фундаментів становить -1,800 м, фундаменти знаходяться вище рівня ґрунтових вод. Водовідлив при виконанні робіт не потрібен. Агресивність ґрунтових вод до бетону марки W6 відсутня.

3.2. Обґрунтування вибору типу фундаментів

3.2.1. Аналіз варіантів

При виборі типу фундаментів для реконструкції стадіону розглядалися два варіанти:

Варіант 1. Пальові фундаменти.

- *Конструкція:* Буронабивні палі Ø600 мм довжиною 8 м з об'єднанням ростверком.
- *Переваги:* Висока несуча здатність, мінімальні осідання.

- *Недоліки:* Висока вартість, необхідність залучення важкої бурової техніки в умови парку, складність влаштування у гравійних ґрунтах (ІГЕ-3).

Варіант 2. Фундаменти мілкового закладання (Природна основа).

- *Конструкція:* Монолітні залізобетонні стовпчасті фундаменти.
- *Переваги:* Низька вартість, простота виконання, достатня несуча здатність шару ІГЕ-3 (гравій), відсутність вібраційних впливів на існуючі конструкції.
- *Недоліки:* Необхідність розробки котлованів.

3.2.2. Вибір оптимального рішення

Враховуючи результати статичного розрахунку каркаса (Розділ 2), де завдяки раціональній схемі ферми («гойдалка») вдалося знизити згинальні моменти на фундамент до мінімуму ($M = 65 \text{ кН}\cdot\text{м}$), використання потужних палових фундаментів є економічно недоцільним.

Несучий шар (гравій) залягає на доступній глибині (~2 м).

Прийняте рішення: Застосувати монолітні залізобетонні стовпчасті фундаменти на природній основі.

- Бетон класу: **C20/25 (B25)**.
- Арматура класу: **A400С**.
- Морозостійкість бетону: **F150**.
- Водонепроникність: **W6**.

3.3. Проектування та розрахунок фундаменту Ф-1 (під колону К1)

Фундамент Ф-1 сприймає навантаження від основної несучої колони навісу.

3.3.1. Вихідні дані для розрахунку

Збір навантажень виконано за результатами розрахунку в ПК ЛІРА-САПР для найбільш невідного сполучення (РСЗ №1: Постійне + Сніг + Вітер + Сейсміка). Навантаження наведено на рівні обрізу фундаменту (відм. -0.500).

- Нормативна вертикальна сила: $N_n = 850$ кН.
- Розрахункова вертикальна сила: $N = 975$ кН.
- Розрахунковий згинальний момент: $M_y = 65$ кН·м.
- Розрахункова поперечна сила: $Q_y = 45$ кН.

Глибина закладання фундаменту d_f визначається за формулою:

$$d_f = d_{df} + 0.2$$

де $d_{df} = 0,8$ м (глибина промерзання).

Конструктивно, для досягнення міцного шару ІГЕ-3, приймаємо глибину закладання підшви -1,800 м.

Висота фундаменту $H_f = 1,8 - 0,3$ (цоколь) = 1,5 м. Приймаємо плитну частину висотою 0,9 м та підколонник 0,6 м.

3.3.2. Визначення розмірів підшви фундаменту

Попередню площу підшви визначаємо за умовою тиску на ґрунт основи:

$$A \geq \frac{N_n}{\gamma_c (R_0 - \gamma_{mt} d_f)}$$

де: $R_0 = 350$ кПа – умовний розрахунковий опір ґрунту ІГЕ-3; $\gamma_{mt} = 20$ кН/м³ – усереднена питома вага фундаменту та ґрунту на уступах; $\gamma_c = 1,2$ – коефіцієнт умов роботи.

$$A \geq \frac{850}{1,2 \cdot (350 - 20 \cdot 1,8)} = 2,25 \text{ м}^2$$

З урахуванням наявності моменту та сейсміки, збільшуємо площу на 40%.

Конструктивно приймаємо квадратний фундамент розміром в плані 2,1x2,1 м.

Площа підоснови: $A = 2,1 \cdot 2,1 = 4,41 \text{ м}^2$.

Момент опору підоснови: $1,54 \text{ м}^3$.

3.3.3. Уточнення розрахункового опору ґрунту

Визначаємо розрахунковий опір ґрунту основи R для фундаменту шириною $b=2,1 \text{ м}$ та глибиною $d=1,8 \text{ м}$ за формулою ДБН В.2.1-10:2018:

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma} k_z b \gamma_{II} + M_q d_1 b \gamma_{II} + (M_d - 1) d_b \gamma_{II} + M_c c_{II}]$$

$$R = \frac{1,4 \cdot 1,2}{1,1} [2,11 \cdot 1 \cdot 2,1 \cdot 21,0 + 9,44 \cdot 1,8 \cdot 19,5 + 11,73 \cdot 1] \approx 680 \text{ кПа.}$$

Приймаємо обмеження: $R = 600 \text{ кПа}$.

3.3.4. Перевірка тиску під підосввою

1. Середній тиск:

$$p_{avg} = \frac{N_{tot}}{A} = \frac{1133,8}{4,41} = 257 \text{ кПа.}$$

Умова виконується.

2. Максимальний крайовий тиск:

$$p_{max} = p_{avg} + \frac{M_{tot}}{W} = 257 + \frac{123,5}{1,54} = 257 + 80 = 337 \text{ кПа.}$$

3. Мінімальний крайовий тиск:

$$p_{min} = p_{avg} - \frac{M_{tot}}{W} = 257 - 80 = 177 \text{ кПа} > 0.$$

Відрив підоснови відсутній (епюра тиску трапецієвидна, повна).

3.3.5. Перевірка на продавлювання (зріз)

Перевірка виконується на дію поздовжньої сили N без урахування відпору ґрунту під площею піраміди продавлювання.

Призма продавлювання починається від граней підколонника (900x900 мм) під кутом 45° . Робоча висота нижнього щабля: $h_0 = 450 - 50 = 400$ мм. Умова міцності: $F \leq \alpha R_{bt} u_m h_0$. Перевірка показала, що міцність бетонного перерізу достатня без встановлення поперечної арматури.

3.3.6. Розрахунок осідання фундаменту (S)

Таблиця 3.2 – Розрахунок осідання фундаменту Ф-1

№ шару	Глибина z, м	Напруження від вл. ваги σ_{zg} , кПа	Коефіцієнт α	Додаткове напруження $\sigma_{zp} = \alpha p_0$, кПа	Осідання шару S_i , мм
0	0	34,2	1	222	-
1	0,84	50,1	0,7	155,4	2,8
2	1,68	66	0,4	88,8	1,6
3	2,52	82	0,25	55,5	1
4	3,36	98	0,15	33,3	0,6

3.4. Конструювання фундаментів

3.4.1. Армуння

Армуння підшви фундаментів виконується плоскими зварними сітками.

- Для Ф-1: Сітка з арматури **14 А400С** з кроком 200 мм в обох напрямках (згідно з розрахунком на згин консольного виступу підшви).
- Для Ф-2: Враховуючи роботу на виривання, передбачено **верхню арматурну сітку** (10 А400С) для сприйняття зворотних моментів від ваги ґрунту засипки.
- Захисний шар бетону для нижньої арматури – 40 мм (за наявності бетонної підготовки).

3.4.2. Анкерні вузли

Кріплення сталевих колон до фундаментів виконується за допомогою фундаментних болтів згідно з ДСТУ ГОСТ 24379.1:2008.

- **Вузол К1 (Ф-1):** 4 болти М30 (Тип 1.2 – вигнуті). Сталь болтів – 09Г2С. База колони жорстка.
- **Вузол К2 (Ф-2):** 4 болти М24. Вузол шарнірний. Болти працюють на значний розтяг, тому передбачено встановлення анкерних плиток на кінцях болтів для надійного зачеплення в бетоні.

3.5. Захист фундаментів та гідроізоляція

Враховуючи агресивність середовища та вимоги до довговічності (категорія відповідальності конструкцій Б), проектом передбачено комплекс заходів антикорозійного захисту.

3.5.1. Гідроізоляція

1. **Підготовка основи:** Під подошвою фундаментів влаштовується щебенева підготовка товщиною 100 мм, просочена гарячим бітумом до повного насичення. Поверх неї – стяжка з пісного бетону (В7.5) товщиною 50 мм.
2. **Капілярна відсічка:** На відмітці -0.050 (верх обрзу фундаменту) виконується горизонтальна гідроізоляція з цементно-піщаного розчину складу 1:2 з добавкою ущільнювачів (типу Ceresit CR 65) товщиною 30 мм.
3. **Захист бічних поверхонь:** Усі бічні поверхні фундаментів, що контактують з ґрунтом, покриваються бітумно-полімерною мастикою за 2 рази по ґрунтовці (праймеру). Це захищає бетон від капілярної вологи та можливої слабкої хімічної агресії ґрунтових вод.

3.5.2. Водовідведення

По периметру будівлі (прибудови) влаштовується водонепроникне вимощення (отмостка) шириною 1,5 м з асфальтобетону по щебеневій основі з ухилом $i=0,03$ від споруди. Це запобігає замочуванню основи поверхневими водами.

3.6. Технологія виконання робіт нульового циклу

3.6.1. Земляні роботи

Розробка котлованів під фундаменти в умовах реконструкції має свої особливості.

1. Зрізання рослинного шару (0,15 м) виконується бульдозером з переміщенням у тимчасовий відвал для подальшого використання при благоустрої.
2. Розробка ґрунту в котлованах ведеться екскаватором із зворотною лопатою (місткість ковша 0,25 м³) до відмітки, що на 20 см вище проєктної.
3. Доробка ґрунту до проєктної відмітки (-1,800) виконується **вручну** безпосередньо перед влаштуванням підготовки. Це необхідно для збереження природної структури несучого шару (гравію).
4. Крутизна укосів котлованів у суглинках приймається 1:0,5 (глибина до 2 м).

3.6.2. Бетонні роботи

1. Укладання бетонної суміші ведеться методом «кран-баддя» або бетононасосом.
2. Обов'язкове вібрування суміші глибинними вібраторами.
3. Догляд за бетоном (полив, укриття плівкою) протягом перших 7 діб твердіння.
4. Встановлення анкерних болтів виконується за допомогою кондукторів з геодезичним контролем положення (допуск в плані ± 2 мм).

3.6.3. Зворотна засипка

Зворотна засипка пазух котлованів виконується місцевим глинистим ґрунтом (суглинком) з відвалу.

Засипка ведеться пошарово (шари 20-30 см) з ущільненням електричними або пневматичними трамбівками до досягнення коефіцієнта ущільнення.

Особлива вимога: Якісне ущільнення пазух фундаменту Ф-2 є критичним для забезпечення його роботи на виривання.

3.7. Геотехнічний моніторинг

У зв'язку з реконструкцією та складними ґрунтовими умовами (сейсміка), проєктом передбачається проведення геотехнічного моніторингу.

На колонах каркаса встановлюються геодезичні марки (репери). Спостереження за осіданнями проводиться:

1. Після влаштування фундаментів (нульовий цикл).
2. Після монтажу каркаса (повне завантаження власною вагою).
3. Після влаштування покрівлі.
4. Перед здачею в експлуатацію.

Допустима різниця осідань сусідніх колон не повинна перевищувати 0,002L (де L – проліт).

Розділ 4. ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

4.1. Характеристика умов реконструкції та методи виконання робіт

4.1.1 Область застосування та характеристика об'єкта

Даний розділ розроблено на виконання комплексу будівельно-монтажних робіт з реконструкції споруди стадіону в м. Ужгороді. Умови будівництва характеризуються як стеснені, що обумовлено розташуванням об'єкта в межах існуючої рекреаційної зони з щільною забудовою та насадженнями. Коефіцієнт стесненості згідно з ДБН А.3.1-5:2016 становить $K_{st} = 1,2$.

Основні конструктивні характеристики об'єкта реконструкції:

Каркас: Сталевий рамно-в'язевий.

Колони: Сталеві двотаври 35К1 (основні) та 30К1 (фахверкові).

Покриття: Сталеві ферми прольотом 19,4 м з консольним вильотом 11,4 м.

Огороджувальні конструкції: Сендвіч-панелі.

4.1.2. Організаційно-технологічна схема

Роботи виконуються потоковим методом з розбивкою будівлі на захватки. Загальний напрямок робіт - вздовж цифрових осей від осі 1 до осі 13. Комплексний потік включає наступні спеціалізовані потоки:

- 1. Підготовчий потік:** Огородження, демонтаж, геодезична розбивка.
- 2. Потік нульового циклу:** Земляні роботи, влаштування фундаментів.
- 3. Монтажний потік:** Монтаж сталевих колон, балок, ферм.
- 4. Оздоблювальний потік:** Монтаж стінових та покрівельних панелей, влаштування підлог.

4.2. Технологічна карта на монтаж сталевих колон

4.2.1. Область застосування

Технологічна карта розроблена на монтаж сталевих колон одноповерхової (з антресоллю) будівлі прибудови стадіону. Карта передбачає монтаж колон перерізом 35К1 масою до 1,8 т та висотою 9,2 м на залізобетонні фундаменти за допомогою самохідного стрілового крана. Роботи виконуються в одну зміну в літній період.

4.2.2. Організація та технологія будівельного процесу

А) Підготовчі роботи До початку монтажу колон повинні бути виконані:

1. Прийняті за актом фундаменти (перевірено положення анкерних болтів, відхилення в плані не більше ± 2 мм, по висоті ± 5 мм).
2. Засипані пазухи фундаментів.
3. Влаштовані під'їзні шляхи та майданчики складування.
4. Доставлені в зону монтажу металоконструкції та перевірена їх якість (наявність сертифікатів, відсутність деформацій).
5. Геодезична розбивка осей з нанесенням рисок на фундаменти.

Б) Підготовка колон до монтажу Перед підйомом кожна колона підлягає огляду та підготовці:

- Очищення від бруду, іржі, льоду.
- Нанесення рисок геометричних осей на опорну плиту (базу) та на тіло колони на рівні верху фундаменту.
- Перевірка різьби на анкерних болтах фундаменту (прогонка гайок).

В) Вибір монтажного крана (Розрахунок) Вибір крана виконується за параметрами найбільш важкого та віддаленого елемента (колона по осі Б, що монтується з проїзду вздовж осі В).

1. Необхідна вантажопідйомність (Q_{req}):

$$Q_{req} = Q_{el} + Q_{rig} \quad (3.1)$$

де $Q_{el} = 1,8$ т — маса колони 35К1; $Q_{rig} = 0,2$ т — маса стропів та траверси.

$$Q_{req} = 1,8 + 0,2 = 2 \text{ т}$$

2. Необхідна висота підйому гака (H_{req}):

$$H_{req} = h_0 + h_z + h_{el} + h_{str} \quad (3.2)$$

де $h_0 = 0,0$ м — рівень монтажного горизонту (верх фундаменту -0.600, але монтаж ведеться з рівня землі); $h_z = 0,5$ м — запас висоти для заведення на анкери; $h_{el} = 9,2$ м — висота колони; $h_{str} = 2,5$ м — висота стропування

$$H_{req} = 0 + 0,5 + 9,2 + 2,5 = 12,2 \text{ м}$$

3. Необхідний визначаємо графічно:

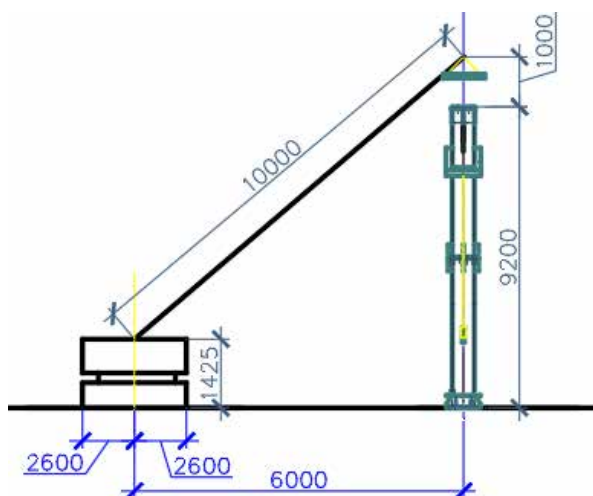


Рис. 4.1. Схема визначення вильоту стріли самохідного крана графічним

Висновок: За параметрами приймаємо автомобільний кран *МКГ-25*. Вантажна характеристика крана на вильоті 12 м складає 5,5 т > 2,0 т. Запас міцності забезпечено.

Г) Опис операцій монтажу Монтаж виконується ланкою з 4 монтажників та 1 машиніста крана.

1. Стропування виконується "на удавку" універсальним стропом або за допомогою спеціальної траверси з дистанційним розстропуванням. Місце стропування - вище центру ваги (на 1/3 висоти від верху), щоб колона висіла вертикально. Обов'язкове використання інвентарних прокладок для захисту стропа.

2. Підйом виконується поворотом стріли з одночасним підйомом гака. Колона утримується від розгойдування відтяжками.

3. Встановлення: Наведення бази колони на анкерні болти. Колона спирається на пакет сталевих підкладок (для регулювання висоти) або на вивірені гайки (безвивірковий метод).

4. Закріплення: Затягування анкерних гайок. Оскільки колона має жорстку базу і кріпиться на 4 болти М30, додаткове розкріплення розчалками не потрібне (стійкість забезпечена).

5. Вивірка: Геодезичний контроль вертикальності за допомогою двох теодолітів. Допустиме відхилення від вертикалі +/- 10 мм.

6. Підливка бази: Після остаточного закріплення простір під базою заповнюється дрібнозернистим бетоном на безусадковому цементі.

4.2.3. Вимоги до якості робіт (Карта операційного контролю)

Таблиця 4.1 - Допустимі відхилення при монтажі колон (згідно з ДБН В.2.6-163:2010)

№ п/п	Найменування параметру	Допуск, мм	Метод контролю	Ким контролюється
1	Відхилення відміток опорної поверхні фундаментів	-5	Нівелір	Геодезист
2	Зміщення осей анкерних болтів	±2,0	Рулетка	Майстер
3	Зміщення осей колон відносно розбивочних осей	±5,0	Лінійка	Майстер
4	Відхилення осі колони від вертикалі у верхньому перерізі	±15,0	Теодоліт	Геодезист
5	Висота підливки під базою	±10,0	Лінійка	Майстер

4.2.4. Потреба в матеріально-технічних ресурсах

Таблиця 4.2 - Машини, механізми та інструменти

Найменування	Марка / Тип	К-сть	Призначення
Кран автомобільний	МКГ-25	1	Монтаж конструкцій
Апарат зварювальний	ВД-306	2	Електрозварювання
Теодоліт	ЗТ5КП	2	Вивірка вертикальності
Нівелір	Н-3	1	Контроль відміток
Строп кільцевий	СКК1-2,5	2	Підйом колон
Ключ динамометричний	КД-50	2	Затягування болтів
Лом монтажний	ЛМ-20	4	Рихтування

4.2.5. Калькуляція трудових витрат

Розрахунок виконано згідно з ЕНіР Збірник 5 «Монтаж металевих конструкцій». Загальна кількість колон: 26 шт.

Таблиця 4.3 - Калькуляція трудомісткості робіт

№ п/п	Шифр норми (ЕНіР)	Найменування робіт	Од. вим.	Обсяг	Норма часу, люд-год	Витрати праці, люд-год	Розцінка, грн	Вартість, грн
1	§ 5-1-3, т.1, п.1	Монтаж сталевих колон масою до 2 т на бетонні фундаменти	1 кол.	26	3,4	88,4	24-50	637
2	§ 5-1-21, п.1	Підливка баз колон цементним розчином	1 кол.	26	0,58	15,1	4-20	109,2
3	§ 5-1-1, п.2	Електрозварювання монтажних стиків (шайби, заземлення)	10 м	2,6	4,2	10,9	32-00	83,2
4	§ 1-18	Розвантаження конструкцій	1 т	48	0,42	20,2	3-10	148,8
5	§ 22-15	Антикорозійний захист зварних з'єднань	10 м ²	3,5	1,8	6,3	12-50	43,75
		РАЗОМ:	-	-	-	140,9	-	1021,95

Техніко-економічні показники по карті:

1. Трудомісткість на 1 колону: $140,9 / 26 = 5,4$ люд.-год.
2. Виробіток на 1 робітника в зміну: $48 \text{ т} / (140,9 / 8) = 2,7$ т/зміну.
3. Тривалість робіт (ланка 5 чел.): $140,9 / (5 \cdot 8) \rightarrow 4$ дні.

4.3. Контроль якості виконаної роботи

В даний час особливо гостро стоїть питання щодо якості продукції, яка випускається будівництвом.

Якість будівельної продукції - основний фактор, що впливає на вартість будівництва, економічність і рентабельність завершеного об'єкта в експлуатації, а також забезпечує його надійність і довговічність.

Якість будівельної продукції у вигляді завершеного будівельного об'єкта визначається якістю проєкту, будівельних матеріалів, напівфабрикатів і виробів, а також якістю виконання будівельно-монтажних робіт.

Якість виконання будівельно-монтажних робіт регламентується

**ДБН В.2.6-98:2009 «Конструкції будинків і споруд. Сталеві конструкції»,
ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та оздоблення»,
ДБН В.1.2-14:2018 «Захист будівель і споруд від корозії»,
ДБН В.2.6-33:2018 «Огороджувальні конструкції».**

У сучасних умовах якість контролюють візуальним оглядом, натурним вимірюванням лінійних розмірів, натурним методом випробувань, механічним або руйнівним (деструктивним) та фізичним або неруйнівним (адеструктивним) методом.

Візуальний огляд застосовують для визначення якості виконаних робіт лише тих конструкцій, які доступні для огляду. Для цієї мети використовують

прості вимірювальні прилади й інструменти. За допомогою візуального огляду можна встановити загальний стан досліджуваної частини будівлі.

Вимірювання лінійних розмірів здійснюється головним чином геодезичними методами. Для вимірювань застосовують нівеліри та теодоліти, мірні стрічки, рулетки, нівелірні рейки тощо. Фактичні розміри якісних будівельних конструкцій не повинні виходити за межі, встановлені нормативними документами.

Механічний або руйнівний метод застосовують для визначення технічного стану конструкцій. Цей метод дає можливість встановити міцнісні, вологісні, деформаційні та інші характеристики матеріалів, з яких складаються конструкції. Для цього на різних стадіях відбирають контрольні зразки. Результати лабораторних досліджень таких зразків дозволяють отримати обґрунтовані висновки щодо якості частин будівлі.

Натурний метод випробувань конструкцій полягає в інструментальному вимірюванні фактичних напружень, що виникають у конструкціях.

Фізичний або неруйнівний метод застосовують для визначення фізико-механічних властивостей матеріалів конструкцій. Метод дозволяє, не пошкоджуючи досліджуваної конструкції, швидко отримати точні результати.

Висока якість будівельно-монтажних робіт забезпечується систематичним контролем виконання кожного виробничого процесу. З позиції організації контроль якості поділяється на внутрішній і зовнішній. Внутрішній контроль здійснюють у процесі виконання будівельно-монтажних робіт виконроби, майстри та бригадири, які стежать за якістю робіт безпосередньо на робочих місцях.

Внутрішній вхідний контроль включає перевірку якості продукції від замовника, проєктно-кошторисної документації, а також перевірку будівельних

матеріалів, конструкцій, виробів і обладнання на відповідність вимогам проекту, ДБН, ДСТУ, технічним умовам, паспортам та іншим вимогам. За необхідності проводять лабораторні випробування матеріалів. Вхідний контроль може бути суцільним або вибіркоvim, тобто з повною або частковою перевіркою матеріалів, конструкцій і виробів.

Операційний контроль здійснюється після завершення виробничих операцій. Приймальний контроль проводиться під час приймання прихованих робіт та завершених конструктивних елементів.

Основним критерієм оцінки якості є вимоги **чинних ДБН**.

Вимоги при приймальному контролі (відповідно до ДБН В.2.6-98:2009):

При остаточному прийманні змонтованих конструкцій повинні бути подані документи:

виконавчі креслення із внесеними (якщо є) відхиленнями; заводські технічні паспорти на сталеві конструкції; документи, що підтверджують якість матеріалів, застосованих при виконанні робіт; акти огляду прихованих робіт; виконавчі геодезичні схеми положення конструкцій; журнали робіт; документи про контроль якості зварних з'єднань.

4.4 Вимоги до якості та приймання робіт

4.4.1. Система контролю якості

Забезпечення необхідної якості та надійності монтажу металевих конструкцій досягається шляхом здійснення комплексної системи виробничого контролю, який включає вхідний, операційний та приймальний контроль. Контроль виконується відповідно до вимог ДБН А.3.1-5:2016 «Організація

будівельного виробництва» [9] та ДБН В.2.6-163:2010 «Сталеві конструкції» [13].

1. Вхідний контроль

Здійснюється комісією у складі виконроба, майстра та представника служби якості до початку монтажних робіт. Вхідному контролю підлягають:

- Проектна документація: наявність штампів «До виконання робіт», ПВР та технологічних карт.
- Конструкції (Колони): перевірка наявності сертифікатів заводу-виробника, паспортів на вироби. Візуальний огляд на предмет відсутності деформацій (вигинів, вм'ятин), пошкоджень антикорозійного покриття, якості заводських зварних швів. Геометричний контроль основних розмірів (довжина, переріз, розташування отворів у базі та оголовку).
- Фундаменти: геодезична перевірка планово-висотного положення анкерних болтів та опорної поверхні фундаментів. Складається виконавча схема.
- Матеріали: перевірка сертифікатів на електроди, метизи (болти, гайки, шайби), бетонну суміш для підливки.

2. Операційний контроль

Виконується в процесі виконання технологічних операцій для своєчасного виявлення та усунення дефектів.

- *При підготовці:* Контроль чистоти поверхні баз колон та фундаментів, наявність та правильність нанесення осьових рисок.
- *При встановленні:* Контроль суміщення рисок на колоні та фундаменті, вертикальність колони (за допомогою двох теодолітів у взаємно перпендикулярних площинах).

- *При закріпленні:* Контроль зусилля затягування анкерних гайок (перевірка динамометричним ключем), наявність контргайок та шайб.
- *При підливці:* Контроль якості бетонної суміші (рухливість), щільності заповнення підливки (відсутність пустот), догляд за бетоном.

3. Приймальний контроль

Здійснюється після завершення монтажу колон на захватці. Прийманню підлягають змонтовані конструкції, зафіксовані у проєктному положенні. За результатами приймального контролю складаються Акти огляду прихованих робіт на:

- Встановлення та закріплення анкерних болтів;
- Підливку баз колон цементним розчином;
- Антикоровий захист зварних з'єднань та пошкоджених ділянок;
- Геодезичну виконавчу схему змонтованих колон.

4.4.2. Допустимі відхилення

Оцінка якості монтажу здійснюється шляхом порівняння фактичних параметрів із граничними відхиленнями, регламентованими ДБН В.2.6-163:2010 (Таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 - Карта контролю якості та допустимі відхилення при монтажі сталевих колон

Примітка: У разі виявлення відхилень, що перевищують допустимі, роботи призупиняються до розробки та погодження з проєктною організацією технічних рішень щодо їх усунення або підсилення вузлів.

4.5. Техніка безпеки і охорона праці

4.5.1. Загальні положення

Організація будівельного майданчика, робочих місць та технологія виконання монтажних робіт повинні відповідати вимогам ДБН А.3.2-2-2009 «Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві» [10]. Відповідальність за дотримання правил охорони праці та пожежної безпеки покладається на керівника робіт (виконроба, майстра). До виконання верхолазних робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли професійну підготовку, медичний огляд та вступний інструктаж з охорони праці, а також інструктаж на робочому місці.

4.5.2. Безпека при роботі вантажопідіймальних механізмів

Монтаж колон виконується стріловим самохідним краном МКГ-25. При експлуатації крана необхідно дотримуватися наступних вимог:

1. **Встановлення крана:** Кран встановлюється на спланованому майданчику з ухилом не більше допустимого паспортом машини. Виносні опори (аутригери) повинні встановлюватися на всі чотири опори з використанням інвентарних дерев'яних підкладок.
2. **Небезпечна зона:** Межа небезпечної зони роботи крана визначається радіусом $R_d = 20,8$ м. Кордон зони позначається знаками безпеки «Стій! Небезпечна зона» та сигнальною стрічкою. Перебування сторонніх осіб у цій зоні категорично заборонено.
3. **Робота крана:**

Забороняється піднімати вантажі, маса яких перевищує вантажопідйомність крана на даному вильоті стріли.

Забороняється підтягувати вантаж гаком при похилому положенні канатів (косе натягування).

Забороняється переміщувати вантаж над людьми.

Машиніст крана повинен працювати тільки за сигналами стропальника (сигнал «Стоп» може подати будь-який працівник, що помітив небезпеку).

4.5.3. Безпека при монтажі металоконструкцій

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): Всі працівники повинні бути забезпечені захисними касками, спецодягом, спецвзуттям з нековзною підошвою та рукавицями. Монтажники-висотники зобов'язані використовувати запобіжні пояси (лямкові) з амортизаторами.

Робота на висоті:

- При переході по конструкціях, що не мають огороження, монтажники повинні закріплюватися карабіном запобіжного пояса за страхувальний канат (діаметром не менше 8 мм), натягнутий вздовж конструкцій.
- Підйом робітників на висоту дозволяється тільки по інвентарних драбинах, закріплених на колонах, або за допомогою автогідропідйомників. Підйом людей на гаку крана заборонено.

Технологічні прийоми:

- Очищення конструкцій від бруду та іржі слід виконувати на землі до підйому.
- Під час переміщення колони краном її слід утримувати від розгойдування та обертання за допомогою гнучких відтяжок (пеньковий канат).

- Забороняється залишати змонтовані елементи у нестійкому положенні або закріпленими меншою кількістю болтів, ніж передбачено ПВР (мінімум 100% затяжки анкерних гайок до розстропування).

4.5.4. Електробезпека та пожежна безпека

Враховуючи специфіку об'єкта реконструкції (робота поблизу зелених насаджень, зварювальні роботи):

1. Електробезпека:

Металеві частини будівельних машин, механізмів та корпуси зварювальних трансформаторів підлягають заземленню.

Тимчасові електромережі на будівельному майданчику повинні бути ізольовані та підвішені на надійних опорах на висоті не менше 2,5 м над робочими місцями та 3,5 м над проїздами.

Світильники загального освітлення напругою 220 В повинні монтуватися на висоті не менше 2,5 м.

2. Пожежна безпека:

Місця проведення зварювальних робіт повинні бути очищені від горючих матеріалів у радіусі не менше 5 м.

Зварювальні пости комплектуються вогнегасниками (ОП-5 або ОП-9), ящиком з піском та відром з водою.

Після закінчення роботи відповідальна особа зобов'язана оглянути місце зварювання та переконатися у відсутності джерел займання.

Куріння на території будівельного майданчика дозволяється тільки у спеціально відведених місцях, обладнаних урнами з водою.

4.6. Технологія виконання монтажних зварювальних робіт

Зварювальні роботи є невід'ємною частиною монтажу сталевого каркаса. Від якості зварних швів залежить надійність вузлів кріплення ферм, балок та в'язей.

3.6.1. Підготовка до зварювання

До початку зварювання необхідно:

1. Перевірити складання вузлів (зазори, зміщення кромки). Допустимий зазор у стикових з'єднаннях - не більше 2 мм.
2. Очистити кромки та прилеглу зону (на ширину 20-30 мм) від іржі, мастила, фарби та вологи до металевого блиску за допомогою металевих щіток або шліфувальної машинки.
3. Забезпечити зварювальника справним обладнанням, електродами та засобами захисту (щиток, рукавиці).

4.6.2. Режими та матеріали

Для монтажних стиків (сталь С345) застосовується ручне дугове зварювання (РДЗ).

- **Електроди:** Типу Е50А (наприклад, УОНИ-13/55) діаметром 4-5 мм. Перед використанням електроди повинні бути прожарені при температурі 350-400°C протягом 1-2 годин.
- **Зварювальний струм:** Постійний струм зворотної полярності. Сила струму підбирається за формулою: $I = (40...50)$ Для електрода 160-200 А.

4.6.3. Технологія виконання швів

- **Прихоплювання:** Виконується тими ж електродами, що і основне зварювання. Довжина прихопок 50-80 мм, крок 300-400 мм.

- **Багат шарові шви:** Шви катетом понад 8 мм виконуються у кілька проходів. Кожен наступний шар накладається після ретельного очищення попереднього від шлаку (обстукування молотком).
- **Послідовність:** Щоб уникнути температурних деформацій, зварювання симетричних вузлів виконується від середини до країв («обернено-східчастим» методом).

4.6.4. Контроль якості зварних з'єднань

- **Візуальний огляд (100%):** Виявлення зовнішніх дефектів (тріщин, підрізів, пор, непроварів, пропалів). Геометричні розміри шва перевіряються шаблонами УШС.
- **Ультразвуковий контроль (УЗК):** Виконується для відповідальних стикових швів розтягнутих поясів ферм (обсяг контролю - 5-10%).

4.7. Технологія антикорозійного захисту металоконструкцій

Враховуючи експлуатацію стадіону на відкритому повітрі, захист від корозії є критично важливим етапом.

4.7.1. Підготовка поверхні

Якість підготовки поверхні визначає довговічність покриття.

- **Ступінь очищення:** Sa 2½ (згідно з ISO 8501-1).
- **Метод:** Монтажні стики та пошкоджені ділянки очищаються механічним способом (електрощітками, шліфкругами). Заводське покриття, пошкоджене при транспортуванні, зачищається наждачним папером "на перехід".

4.7.2. Система покриття

Проектом передбачено лакофарбове покриття загальною товщиною не менше 120 мкм (для середовища С3):

1. **Грунтування:** 1 шар грунтовки ГФ-021 (або епоксидної) товщиною 40-50 мкм. Наноситься пензлем або валиком, ретельно промазуючи болтові з'єднання та щілини.
2. **Фарбування:** 2 шари емалі ПФ-115 (або поліуретанової) товщиною по 40 мкм кожен. Кожен наступний шар наноситься після повного висихання попереднього (24 години при $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

4.7.3. Контроль якості покриття

- Зовнішній вигляд: Рівномірність, відсутність патьоків, зморшок, пропусків.
- Товщина: Вимірюється магнітним товщиноміром (типу МТ-2007) у 5 точках на кожні 10 м² поверхні.

4.8. Технологія влаштування монолітних перекриттів по профнастилу

У прибудові (осі Б-В) міжповерхові перекриття виконуються як композитні (монолітний залізобетон по сталевому профільованому настилу). Профнастил слугує незмінною опалубкою та зовнішньою арматурою.

4.8.1. Підготовчі роботи

- Монтаж балок перекриття (двотаври 25Б1) завершено та перевірено.
- На верхні полиці балок приварені упори (стад-болти) для забезпечення сумісної роботи бетону та сталі.

4.8.2. Укладання профнастилу

- Використовується несучий профнастил (наприклад, ТП-75 або Н-60).
- Листи укладаються широкими гофрами вниз, перекриваючи один одного на одну хвилю.
- Кріплення до балок виконується самонарізними гвинтами або дюбелями (в кожну хвилю на крайніх опорах, через хвилю - на проміжних).
- Між собою листи з'єднуються заклепками з кроком 300 мм.

4.8.3. Армування

- Встановлюється протиусадочна сітка (наприклад, d5 Вр-1, вічко 150x150 мм) у верхній зоні плити.
- У гофри (ребра) закладаються додаткові арматурні каркаси, якщо це передбачено розрахунком.
- Забезпечується захисний шар бетону (15-20 мм) за допомогою пластикових фіксаторів.

4.8.4. Бетонування

- Бетонна суміш класу С20/25 (В25) з осадкою конуса 10-12 см.
- Подача бетону здійснюється автобетононасосом або в баддях краном.
- Укладання ведеться смугами, паралельними гофрам, без скупчення бетонної маси в одному місці (щоб не прогнути настил).
- Ущільнення - поверхневими вібраторами або віброрейкою.
- **Догляд:** Свіжоукладений бетон вкривається поліетиленовою плівкою для запобігання швидкому випаровуванню вологи. Зволоження проводиться протягом 3-7 діб.

4.8.5. Контроль якості

- Допускається прогин профнастилу під вагою бетону не більше $1/180$ прольоту.
- Відхилення поверхні плити від горизонталі - не більше ± 10 мм

5. ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВНИЦТВА

5.1. Характеристика умов реконструкції та методи виконання робіт

5.1.1. Загальні положення

Даний розділ розроблено на виконання комплексу будівельно-монтажних робіт з реконструкції споруди стадіону в м. Ужгороді. Проект організації будівництва (ПОБ) є складовою частиною робочого проекту і розроблений відповідно до вимог ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва» [9].

Реконструкція виконується в умовах діючого парку «Підзамковий», що накладає ряд суттєвих обмежень на організацію будівельного майданчика та методи виконання робіт. Умови будівництва характеризуються як **складні (стеснені)** через наступні фактори:

1. **Обмеженість території:** Будівельний майданчик затиснутий між ігровим полем стадіону (яке підлягає збереженню) та існуючими зеленими насадженнями парку. Це унеможлиблює розміщення великогабаритних складів та вимагає організації монтажу конструкцій «з коліс».
2. **Наявність діючих мереж:** На території проходять існуючі інженерні комунікації, що вимагає особливої обережності при виконанні земляних робіт та встановленні вантажопідіймальних механізмів.
3. **Екологічні вимоги:** Роботи ведуться в рекреаційній зоні, що вимагає мінімізації шумового впливу, пилоутворення та суворого дотримання меж відведення землі.

Коефіцієнт стесненості для визначення кошторисної вартості та трудомісткості робіт приймається рівним $K_{st} = 1,2$.

5.1.2. Організаційно-технологічна схема

Для забезпечення ритмічності будівництва та ефективного використання механізмів прийнято потоковий метод організації робіт. Будівля розбивається на захватки в межах температурних блоків.

Комплексний потік будівництва включає наступні спеціалізовані потоки:

1. **Підготовчий потік:** Влаштування тимчасового огороження, демонтаж існуючих аварійних конструкцій, геодезична розбивка осей.
2. **Потік «Нульовий цикл»:** Земляні роботи, влаштування монолітних фундаментів під колони, гідроізоляція, зворотна засипка пазах з пошаровим ущільненням.
3. **Монтажний потік:** Монтаж сталевих колон, балок перекриття, кроквяних ферм, в'язей та прогонів покриття.
4. **Огороджувальний потік:** Монтаж стінових та покрівельних сендвіч-панелей, встановлення віконних та дверних блоків.
5. **Оздоблювальний та інженерний потік:** Влаштування підлог, перегородок, монтаж внутрішніх інженерних систем.

Роботи виконуються в одну зміну тривалістю 8 годин.

5.2. Календарне планування будівництва

5.2.1. Призначення та методика розрахунку

Календарний план є основним документом у складі ПОБ, який визначає послідовність, взаємозв'язок та терміни виконання всіх будівельно-монтажних робіт. Метою календарного планування є оптимізація термінів будівництва та рівномірний розподіл трудових і матеріальних ресурсів.

Розрахунок трудомісткості робіт виконано на основі фізичних обсягів робіт за робочими кресленнями та діючих норм часу ЕНіР (Єдині норми і розцінки) та РЕКН (Ресурсні елементні кошторисні норми).

Нормативний термін будівництва визначено згідно з ДБН А.3.1-5:2016.
Директивний термін реконструкції встановлено 4,0 місяці.

5.2.2. Розрахунок трудових витрат

Зведена відомість обсягів робіт та трудомісткості наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 5.1 - Калькуляція трудових витрат та витрат машинного часу

№ п/п	Шифр норми (ЕНіР)	Найменування робіт	Од. вим.	Обсяг	Норма часу (люд-год)	Трудомісткість (люд-год)	Машиноємність (маш-год)	Склад ланки (чол.)
I	ПІДГОТОВЧИЙ ПЕРІОД					245,6	32	
1	E2-1-46	Зрізання рослинного шару бульдозером з переміщенням до 30 м	1000 м ²	1,2	2,4	2,9	2,9	1 (мех.)
2	E4-1-4	Демонтаж бетонних конструкцій старих трибун (механізований)	10 м ³	4,5	8,5	38,25	18	2
3	E1-18	Навантаження будівельного сміття екскаватором на автосамоскиди	100 т	1,8	4,2	7,56	7,56	1 (мех.)
4	E22-42	Влаштування тимчасового інвентарного огороження	100 м	5,5	32	176	-	2
5	-	Геодезична розбивка осей будівлі	-	-	-	20,9	-	3
II	ЗЕМЛЯНІ РОБОТИ ТА ФУНДАМЕНТИ					684,5	85,4	

Продовження таблиці 5.1

6	E2-1-11	Розробка ґрунту в котлованах екскаватором з ковшем 0,25 м ³	100 м ³	2,4	5,8	13,9	13,9	1 (мех.)	
7	E2-1-38	Доробка ґрунту вручну з зачисткою дна та стінок	м ³	15	1,2	18	-	1	
8	E4-1-35	Влаштування щебеневої підготовки під фундаменти	м ³	8	2,4	19,2	-	2	
9	E4-1-36	Влаштування щитової опалубки фундаментів	м ²	180	0,65	117	-	2	
10	E4-1-44	Встановлення арматурних сіток та каркасів	т	4,5	18,5	83,25	-	2	
11	E4-1-48	Встановлення анкерних блоків (болтів) з вивіркою	т	0,8	24	19,2	4,8	2	
12	E4-1-49	Укладання бетонної суміші у фундаменти	м ³	65	2,8	182	26	4	
13	E8-1-15	Гідроізоляція бічних поверхонь фундаментів (обмазувальна)	100 м ²	2,5	12,5	31,25	-	2	
14	E2-1-33	Зворотна засипка пазух з пошаровим трамбуванням	100 м ³	1,8	34	61,2	20,4	2	
III	МОНТАЖ МЕТАЛЕВОГО КАРКАСА						1042,8	158,5	
15	E5-1-3	Монтаж сталевих колон (35К1, 30К1) масою до 2 т	1 шт.	26	3,4	88,4	22,1	5	

Продовження таблиці 5.1

16	E5-1-21	Підливка баз колон цементним розчином	1 шт.	26	0,58	15,08	-	2
17	E5-1-10	Монтаж сталевих балок перекриття (25Б1, 35Б1)	1 т	18	5,1	91,8	18	5
18	E5-1-18	Укрупнювальне збирання ферм на стенді (на землі)	1 т	28	6,5	182	28	4
19	E5-1-5	Підйом та встановлення ферм покриття прольотом 19,4 м	1 шт.	14	4,2	58,8	14,7	5
20	E5-1-10	Монтаж прогонів, розпірок та в'язей покриття	1 т	15	5,1	76,5	15	4
21	E5-1-1	Електрозварювання монтажних вузлів на висоті	10 м	45	5,4	243	-	2
22	E22-15	Антикорозійний захист зварних швів (грунт + емаль)	100 м ²	3,5	18,5	64,75	-	2
23	E1-18	Розвантаження та сортування металоконструкцій	1 т	85	0,42	35,7	35,7	3
IV	Огороджувальні конструкції та покрівля					855,4	42	
24	E7-1-15	Монтаж стінових сендвіч-панелей (вертикальна розкладка)	100 м ²	8,5	24	204	20,4	4

Продовження таблиці 5.1

25	E7-1-15	Монтаж покрівельних сендвіч-панелей	100 м ²	5,2	22	114,4	10,4	4
26	E7-1-22	Встановлення нащільників, вітрових планок та фасонних елементів	100 м	12,5	8,4	105	-	2
27	E8-1-15	Встановлення віконних блоків ПВХ	100 м ²	1,8	46	82,8	-	2
28	E8-1-16	Встановлення зовнішніх металевих дверей та воріт	м ²	45	1,2	54	-	2
V	Влаштування перекриттів та підлог					620,3	34,5	
29	E7-1-45	Укладання несучого профнастилу перекриття	100 м ²	4,5	14,5	65,25	-	3
30	E4-1-44	Армування монолітної плити перекриття (сітками)	т	3,5	12,4	43,4	-	2
31	E4-1-49	Бетонування перекриття (подача автобетононасосом)	м ³	45	1,8	81	12,5	4
32	E11-11	Влаштування цементно-піщаної стяжки підлоги	100 м ²	4,5	22	99	-	3
33	E11-14	Укладання керамічної плитки	100 м ² 3,2			64 204,8	-	2

Закінчення таблиці 5.1

34	E11-18	Влаштування спортивного покриття (лінолеум/гума)	100 м ²	1,5	18,5	27,75	-	2
VI	ВНУТРІШНІ РОБОТИ ТА ІНЖЕНЕРІЯ					780	-	
35	E8-1-25	Мурування внутрішніх перегородок з газоблоків	м ³	55	3,4	187	-	3
36	E15-22	Внутрішнє оздоблення стін та стель (шпаклівка, фарбування)	100 м ²	12,5	28	350	-	4
37	E23-1	Монтаж електроосвітлення та силових мереж	-	-	-	120	-	2
38	E16-11	Монтаж сантехнічного обладнання	-	-	-	85	-	2
	РАЗОМ ПО ОБ'ЄКТУ:					4228,6	352,4	

5.2.3. Розрахунок параметрів календарного плану

1. Загальна нормативна трудомісткість (Q_{norm}): 4228,6 люд.-год.
2. Кількість змін: 1 (8 годин).
3. Розрахункова чисельність бригади: Приймаємо комплексну бригаду у складі 25 осіб (монтажники, бетонники, опоряджувальники, різноробочі).
4. Розрахункова тривалість виконання робіт (T_{calc}):

$$T_{calc} = \frac{Q_{norm}}{N \cdot 8} = \frac{4228,6}{25 \cdot 8} \approx 21 \text{ робочий день}$$

5. Коефіцієнт неврахованих робіт: $k = 1,2$ (враховує підготовчі операції, простої, технологічні перерви).

6. Технологічні перерви:

- Набір міцності бетону фундаментів: 7 діб.
- Набір міцності бетону перекриттів: 14 діб.

7. Загальна тривалість будівництва (T_{tot}):

З урахуванням суміщення робіт ($k_{sum} = 0,7$):

$$T_{tot} = (T_{calc} \cdot k + T_{per})k_{sum} \approx (21 \cdot 1,2 + 21) \cdot 1,5 \approx 70 \text{ роб. днів} \approx 3,5 \text{ міс.}$$

5.2.4. Техніко-економічні показники календарного плану

1. Тривалість будівництва: **3,5 місяці.**
2. Максимальна кількість робітників: **25 чол.**
3. Середня кількість робітників: **18 чол.**
4. Коефіцієнт нерівномірності руху робочої сили:

$$K_n = \frac{N_{max}}{N_{avg}} = \frac{25}{18} = 1,38 < 1,5$$

5.2.5. Оптимізація календарного графіка

При розробці календарного плану застосовано методи мережевого планування для виявлення критичного шляху та оптимізації використання ресурсів. Критичний шлях проходить через роботи з влаштування фундаментів, монтажу металевого каркаса та влаштування покрівлі. Для скорочення загальної тривалості будівництва передбачено суміщення у часі робіт, які технологічно не

пов'язані між собою. Зокрема, монтаж огорожувальних конструкцій (сендвіч-панелей) на одній захватці виконується паралельно з монтажем каркаса на наступній. Внутрішні оздоблювальні роботи та монтаж інженерних мереж розпочинаються відразу після створення "закритого контуру" (монтаж покрівлі та вікон) на першій захватці, що дозволяє значно скоротити термін введення об'єкта в експлуатацію.

5.3. Проектування будівельного генерального плану

5.3.1. Принципи організації будгенплану

Будівельний генеральний план розроблено на стадію зведення надземної частини будівлі. При проектуванні враховано:

- Розміщення монтажного крана та зон його дії.
- Організацію приоб'єктних складів у зоні дії крана.
- Розміщення тимчасових адміністративно-побутових приміщень.
- Трасування тимчасових доріг та інженерних мереж.
- Заходи з охорони праці та пожежної безпеки.

5.3.2. Розрахунок площ складських приміщень

Розрахунок виконується для визначення площі відкритих складів (металоконструкції) та закритих (матеріали, інструмент). Методика розрахунку:

$$S = \frac{Q_{tot} \cdot \alpha \cdot k}{P \cdot T_{str}} \cdot t_{zap} \cdot \beta$$

де: Q_{tot} - загальна кількість матеріалів; $\alpha = 1,1$ - коефіцієнт нерівномірності надходження; $k = 1,3$ - коефіцієнт нерівномірності споживання; P - норма складування на 1 м^2 ; β - коефіцієнт використання площі (проходи).

Таблиця 5.2 - Розрахунок площі складів

Найменування матеріалу	Q_{tot}	Норма запасу (днів)	Норма P , т/м ²	Коеф. β	Розрахункова площа S , м ²	Прийнята площа, м ²
Металоконструкції (колони, балки)	65 т	10	0,6	0,6	58,4	60
Ферми покриття (у касетах)	14 шт	5	0,4 шт/м ²	0,5	95	100
Сендвіч-панелі (пакети)	1800 м ²	7	40 м ² /м ²	0,6	42	45
Цемент, сухі суміші	5 т	10	1,5	0,7	8,5	12
Арматура, метизи	6 т	10	2	0,7	5,4	9

Прийняті рішення:

- Відкритий майданчик для металоконструкцій: **160 м²**.
- Навіс для сендвіч-панелей: **45 м²**.
- Закритий склад (контейнер): **21 м²**.
-

5.3.3. Розрахунок тимчасових будівель та споруд

Розрахунок виконується виходячи з максимальної чисельності працівників ($N_{max} = 25$).

Загальна чисельність персоналу з урахуванням ІТП, МОП та охорони ($k = 1,15$): $N_{tot} = 25 \cdot 1,15 = 29$

Таблиця 5.3 - Потреба у тимчасових будівлях

Призначення будівлі	Норма на 1 чол., м ²	Розрахункова площа, м ²	Прийняте рішення	Кількість, шт.
Гардеробна з сушаркою	0,9	26,1	Побутівка	2
Приміщення для обігріву/їжі	1	29	Побутівка	2
Душова	0,54	15,6	Санблок	1
Прорабська (на 3 ІТП)	4	12	Вагончик-офіс	1
Туалет	1 очко / 15 чол.	2 очка	Біотуалет	2

5.3.4. Розрахунок тимчасового водопостачання

Потреба у воді складається з виробничих (Q_{pr}), господарських (Q_{dom}) та протипожежних (Q_{fire}) витрат. $Q_{tot} = Q_{pr} + Q_{dom} + Q_{fire}$.

1. Виробничі потреби:

- Мийка коліс: 500 л/авто.
- Приготування розчину, полив бетону: 1500 л/зміну.
- Інші потреби: $Q_{pr} = 1,5 \text{ л/с} \cdot 0,5 \text{ (коеф.)} = 0,8 \text{ л/с}$.

2. Господарсько-побутові потреби: $Q_{dom} = (N_{max} \cdot 25) / (3600 \cdot 8) + (N_{shower} \cdot 30) / (60 \cdot 45) = (29 \cdot 25) / 28800 + (20 \cdot 30) / 2700 = 0,025 + 0,22 = \mathbf{0,25 \text{ л/с}}$.

3. Протипожежні потреби: Для будівельного майданчика площею до 5 га мінімальна витрата на зовнішнє пожежогасіння з гідрантів: $Q_{fire} = \mathbf{10,0 \text{ л/с}}$.

Загальна розрахункова витрата: $Q_{calc} = Q_{fire} + 0,5 \cdot (Q_{pr} + Q_{dom}) = 10,0 + 0,5 \cdot (0,8 + 0,25) = 10,5 \text{ л/с}$.

Діаметр труби: При швидкості води $v = 1,5 \text{ м/с}$: **Приймаємо:** Труба сталева водогазопровідна діаметром **100 мм** (ДСТУ 3262-75).

5.3.5. Розрахунок тимчасового електропостачання

Необхідна потужність трансформатора

Споживачі електроенергії:

1. Силові машини (P_c):

Кран (дизель) - 0 кВт.

Вібратори, бетонозмішувач, електроінструмент - 15 кВт ($k_1 = 0,7$).

2. Зварювальне обладнання (P_w):

3 пости \cdot 14 кВт = 42 кВт ($k_2 = 0,6$).

3. Зовнішнє освітлення (P_{out}):

6 прожекторів \cdot 1 кВт = 6 кВт ($k_3 = 1,0$).

4. Внутрішнє освітлення (P_{in}):

6 вагончиків \cdot 2 кВт = 12 кВт ($k_4 = 0,8$).

Розрахунок повної потужності: $P = 1,05 \cdot (0,7 \cdot 15 + 0,6 \cdot 42 + 1,0 \cdot 6 + 0,8 \cdot 12) = 1,05 \cdot (10,5 + 25,2 + 6 + 9,6) = 1,05 \cdot 51,3 = 53,9 \text{ кВА}$.

Висновок: Для забезпечення будівництва електроенергією необхідно встановити комплектну трансформаторну підстанцію (КТП) потужністю **63 кВА** або підключитися до існуючої точки вводу стадіону.

5.3.6. Опис будгенплану

Будгенплан вирішено з урахуванням існуючої інфраструктури парку.

- **Огородження:** Інвентарний паркан висотою 2,0 м.
- **Дороги:** Кільцевий проїзд шириною 3,5 м з розширеннями в зоні розвантаження. Покриття - дорожні плити.
- **Кран:** Монтажний кран переміщується вздовж осі В.
- **Зони складування:** Розміщені в зоні дії крана, але за межами призми обвалення ґрунту.

5.3.7. Організація внутрішньомайданчикowego транспорту

Схема руху автотранспорту на будівельному майданчику прийнята кільцевою, що забезпечує безперебійну доставку матеріалів та вивезення будівельного сміття без необхідності складного маневрування в обмеженому просторі. Тимчасові дороги виконуються із збірних залізобетонних дорожніх плит, укладених на піщану основу, що забезпечує їх надійність у будь-яких погодних умовах та можливість демонтажу і повторного використання після завершення будівництва. Ширина проїзної частини становить 3,5 м, а в місцях розвантаження влаштовуються розширення до 6,0 м для стоянки транспорту під розвантаженням, не перешкоджаючи транзитному руху.

5.3.8. Заходи щодо складування матеріалів

Організація приоб'єктних складів передбачає роздільне зберігання матеріалів залежно від їх виду та габаритів. Металоконструкції (колони, балки) складуються на відкритих майданчиках у зоні дії крана на дерев'яних підкладках, що запобігає їх деформації та забрудненню. Ферми покриття зберігаються у вертикальному положенні в спеціальних касетах для забезпечення їх стійкості. Сендвіч-панелі та інші матеріали, чутливі до атмосферних впливів, зберігаються під навісами або у закритих контейнерах. Для зберігання балонів з киснем та

пропаном обладнуються спеціальні кліті, захищені від прямих сонячних променів та доступу сторонніх осіб.

5.4. Охорона навколишнього середовища

Враховуючи розташування об'єкта реконструкції в парковій зоні «Підзамковий», передбачено комплекс природоохоронних заходів згідно з ДБН А.3.1-5:2016:

1. **Захист зелених насаджень:** Стовбури дерев, що знаходяться в зоні виконання робіт (ближче 5 м від споруди), обшиваються дерев'яними щитами на висоту 2,5 м.
2. **Захист ґрунту:** Знятий родючий шар ґрунту складується в кагати для подальшого використання при благоустрої. Рух транспорту дозволено тільки по тимчасових дорогах з твердим покриттям.
3. **Очищення стічних вод:** На виїзді з майданчика обладнується пункт миття коліс автотранспорту із замкнутим циклом водообігу.
4. **Зменшення пилоутворення:** Регулярний полив доріг у літній період.
5. **Поводження з відходами:** Будівельне сміття сортується та вивозиться спеціалізованим транспортом у закритих контейнерах на полігон ТПВ.

5.4.1. Заходи щодо зниження шумового впливу

Оскільки будівельний майданчик розташований у парковій зоні, проектом передбачено комплекс заходів для зниження рівня шуму. Робота найбільш шумних механізмів (компресори, відбійні молотки) дозволена виключно у денний час. Використовується будівельна техніка з сучасними двигунами, що відповідають екологічним стандартам. При необхідності роботи компресорів встановлюються захисні звукоізолюючі екрани.

5.4.2. Контроль за станом повітряного басейну

Для запобігання забрудненню атмосферного повітря пилом передбачено регулярний полив внутрішньомайданчикових доріг та місць виконання земляних робіт у суху погоду. Сипучі матеріали (пісок, цемент) перевозяться у закритих ємностях або накриваються тентами. Забороняється спалювання будь-яких будівельних відходів та тари на території майданчика. Всі відходи сортуються та вивозяться спеціалізованим транспортом на полігони утилізації.

5.5. Техніко-економічні показники ПОВ

- Нормативна трудомісткість: **4228,6 люд.-год.**
- Проектна тривалість будівництва: **3,5 місяці.**
- Максимальна кількість працюючих: **29 осіб.**
- Рівень механізації робіт: **92%.**
- Питома вага тимчасових будівель та споруд: **1,5%** від кошторисної вартості.

5.6. Організація матеріально-технічного забезпечення

5.6.1. Логістика постачання

Своєчасне забезпечення будівництва матеріальними ресурсами є ключовим фактором дотримання директивних термінів реконструкції. Проєктом організації будівництва передбачена комплектація об'єкта матеріалами, конструкціями та виробами відповідно до календарного графіка виконання робіт.

Організація постачання базується на наступних принципах:

1. **Централізована доставка:** Основні будівельні матеріали (товарний бетон, розчин, пісок, щебінь) доставляються спеціалізованим транспортом

заводів-виробників. Це дозволяє перекласти відповідальність за збереження якості сумішей під час транспортування на постачальника.

2. **Монтаж «з коліс»:** Для великогабаритних металевих конструкцій (колони, ферми) прийнята схема доставки, яка синхронізована з роботою монтажного крана. Транспортні засоби прибувають на майданчик у суворо визначений час, що дозволяє уникнути захаращення території та подвійного переміщення вантажів (розвантаження на склад - подача на монтаж).
3. **Комплектація:** Дрібноштучні матеріали (метизи, електроди, фарби) та інструмент постачаються комплектно на весь обсяг робіт або на технологічний етап, що мінімізує ризики простоїв через відсутність витратних матеріалів.

5.6.2. Вхідний контроль та приймання матеріалів

Всі матеріали та конструкції, що надходять на будівельний майданчик, підлягають обов'язковому вхідному контролю. Відповідальність за його проведення покладається на майстра дільниці або завідувача складом.

Процедура приймання включає:

- Перевірку супровідної документації (паспортів якості, сертифікатів відповідності, накладних). Забороняється використання матеріалів без підтвердження їх якості.
- Зовнішній огляд на предмет механічних пошкоджень, цілісності пакування, відповідності маркування проєктним вимогам.
- Контрольні вимірювання геометричних параметрів (вибірково). Для металоконструкцій перевіряється відсутність деформацій, які могли виникнути при транспортуванні.

- Реєстрацію результатів у «Журналі вхідного контролю якості». Матеріали, що не пройшли контроль, маркуються як «брак» і зберігаються окремо до моменту їх вивезення постачальником.

5.7. Організація оперативно-диспетчерського управління

Для координації дій всіх учасників будівництва (генпідрядника, субпідрядників, постачальників, механізаторів) на об'єкті впроваджується система диспетчерського управління.

Основні завдання диспетчеризації:

1. **Оперативне планування:** Видача добових та тижневих завдань майстрам та бригадирам. Коригування графіків виконання робіт у разі виникнення непередбачуваних обставин (погодні умови, затримка постачання).
2. **Координація механізмів:** Узгодження часу роботи монтажного крана, автобетононасоса та транспортних засобів для уникнення простоїв. Оскільки майданчик тісний, одночасне перебування великої кількості техніки є неможливим.
3. **Контроль виконання:** Збір інформації про фактично виконані обсяги робіт за зміну, аналіз відхилень від календарного графіка та прийняття рішень щодо їх ліквідації.
4. **Зв'язок:** Забезпечення оперативного зв'язку між виконробом, кранівником та ланковими (використання рацій).

На об'єкті проводяться регулярні оперативні наради (планірки), на яких вирішуються поточні виробничі питання, узгоджуються дії суміжників та затверджуються заявки на матеріали та механізми.

5.8. Особливості виконання робіт у зимовий період та за несприятливих погодних умов

Хоча основний період будівництва заплановано на теплу пору року, проектом організації будівництва передбачені заходи на випадок погіршення погодних умов або зміщення термінів у зимовий період.

5.8.1. Робота в зимовий період

При середньодобовій температурі зовнішнього повітря нижче $+5^{\circ}\text{C}$ та мінімальній добовій нижче 0°C вводяться наступні заходи:

1. Бетонні роботи:

- Застосування бетонів з протиморозними добавками (форміат натрію, нітрит натрію тощо), що забезпечують твердіння при від'ємних температурах.
- Транспортування бетонної суміші утепленими автобетонозмішувачами.
- Укривання свіжоукладеного бетону (фундаменти, перекриття) теплоізоляційними матами або плівкою. При значних морозах — застосування електропрогріву бетону грючими кабелями.
- Ретельне очищення арматури та опалубки від снігу та льоду перед бетонуванням (продування стисненим повітрям або прогрів гарячим повітрям).

2. Монтажні роботи:

- Очищення металоконструкцій від обледеніння перед підйомом.
- Особлива увага приділяється безпеці пересування монтажників (посипання проходів піском, очищення драбин).

- Зварювальні роботи виконуються з попереднім підігрівом кромek металу газовими пальниками для видалення вологи та зменшення термічних напружень.

5.8.2. Заходи при несприятливих погодних умовах

- **Вітер:** При швидкості вітру понад 15 м/с (6 балів) монтажні роботи на висоті та робота крана припиняються. Кран повинен бути закріплений протиугінними захватами.
- **Дощ та гроза:** Забороняється виконання зварювальних робіт під відкритим небом без спеціальних навісів. Припиняються роботи на висоті через ризик ковзання.
- **Туман:** Роботи припиняються, якщо видимість у межах фронту робіт недостатня для візуального контакту між кранівником та стропальником.

5.9. Протипожежні заходи на будівельному майданчику

Організація пожежної безпеки на об'єкті реконструкції, особливо в умовах паркової зони, є пріоритетним завданням і регламентується НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

5.9.1. Організаційні заходи

- Призначення наказом по організації відповідальної особи за пожежну безпеку на об'єкті.
- Проведення протипожежного інструктажу з усіма працівниками перед допуском до роботи.
- Розробка плану евакуації людей та матеріальних цінностей на випадок пожежі.
- Обладнання місць для куріння з негорючими урнами та ємностями з водою. Куріння за межами спеціальних місць суворо заборонено.

5.9.2. Технічні заходи

1. **Первинні засоби пожежогасіння:** На території будмайданчика, біля побутових приміщень, складів та в місцях проведення вогневих робіт встановлюються пожежні щити. Комплектація щита: вогнегасники (порошкові ОП-5 або вуглекислотні ОУ-5), лом, багор, сокира, відро, ящик з піском (не менше 0,5 м³).
2. **Вогневі роботи:** Проведення зварювальних та різальних робіт допускається тільки після підготовки робочого місця: очищення від горючих матеріалів (стружка, ганчір'я, суха трава) у радіусі не менше 5 м (при висоті точки зварювання до 2 м) або більше, згідно з нормативами. Наявність зарядженого вогнегасника на робочому місці зварювальника є обов'язковою.
3. **Електромережі:** Тимчасові електромережі монтуються кваліфікованими електриками. Використовуються кабелі з непошкодженою ізоляцією. Світильники обладнуються захисними плафонами. Електронагрівальні прилади в побутових приміщеннях повинні мати закриті нагрівальні елементи та встановлюватися на негорючі підставки.
4. **Дороги та проїзди:** Забезпечується вільний доступ пожежної техніки до всіх будівель (як існуючих, так і тих, що зводяться) та до пожежних гідрантів. Не допускається захаращення проїздів будівельними матеріалами або сміттям.

5.10. Організація геодезичного моніторингу за станом існуючих конструкцій

Оскільки реконструкція стадіону проводиться впритул до існуючого земляного насипу та збережених ділянок трибун, проектом передбачено обов'язковий геотехнічний моніторинг. **Мета моніторингу:** своєчасне

виявлення можливих деформацій (осідань, зсувів) ґрунтового масиву та існуючих конструкцій під впливом будівельних робіт (вібрація від техніки, розробка траншей).

Склад робіт з моніторингу:

1. **Встановлення марок:** На існуючих бетонних елементах трибун та підпірних стінках встановлюються гіпсові або пластинчасті маяки в місцях наявних тріщин.
2. **Геодезичні спостереження:** Встановлення реперів поза зоною впливу будівництва та регулярне (раз на тиждень) нівелювання контрольних точок на гребені земляного валу.
3. **Журнал спостережень:** Ведення журналу, де фіксуються результати вимірювань. У разі виявлення динаміки осідань, що перевищує 2 мм за добу, роботи негайно призупиняються для розробки заходів із підсилення ґрунту.
4. **Віброконтроль:** Обмеження швидкості руху важкої техніки по майданчику до 5 км/год для зменшення вібраційного навантаження на насип.

5.11. Забезпечення об'єкта теплом та паливом

Теплопостачання: Забезпечення теплом необхідне для опалення тимчасових побутових приміщень у перехідний та зимовий періоди, а також для технологічних потреб (сушка одягу, підігрів води).

- Джерело тепла: Електричні масляні радіатори або конвектори потужністю 1,5-2,0 кВт, встановлені у кожному побутовому вагончику. Використання

саморобних нагрівальних приладів («козлів») категорично заборонено правилами пожежної безпеки.

- **Технологічний прогрів:** При бетонуванні в зимових умовах (якщо графік зміститься) передбачено використання термоактивних гнучких покриттів (ТЕНів) або тепляків з тепловими гарматами.

Паливопостачання: Будівельна техніка (кран, екскаватор, самоскиди) працює на дизельному пальному.

- **Зберігання ПММ:** Зберігання палива на майданчику не передбачено через екологічні обмеження паркової зони.
- **Заправка:** Здійснюється мобільним автозаправником, який прибуває на майданчик у визначений час (перед початком зміни). Заправка виконується на майданчику з твердим покриттям з використанням піддонів для запобігання проливу нафтопродуктів на ґрунт.

5.12. Організація зв'язку та диспетчеризації

Для оперативного управління ходом робіт на будівельному майданчику впроваджується система диспетчерського зв'язку.

1. **Мобільний зв'язок:** Основний засіб комунікації між виконробом, майстрами, постачальниками та офісом генпідрядника.
2. **Радіозв'язок:** Для безпосереднього керування монтажними роботами (зв'язок «Кранівник – Стропальник – Монтажник на висоті») використовуються портативні рації. Це є обов'язковою вимогою безпеки при роботі крана, особливо в умовах, коли пряма видимість може бути обмежена конструкціями.
3. **Інтернет:** У штабному вагончику (прорабській) організовується точка доступу до мережі Інтернет (через 4G-роутер) для оперативного обміну

проектною документацією, надсилання фотозвітів та ведення електронного документообігу.

4. **Відеонагляд:** На в'їзді та в зоні складування матеріалів встановлюються камери відеонагляду з віддаленим доступом для контролю збереження матеріальних цінностей та дотримання трудової дисципліни.

5.13. Соціальне обслуговування працівників

Створення належних санітарно-побутових умов є запорукою високої продуктивності праці. Проектом організації будівництва передбачено:

1. **Харчування:** Організація місця для прийому їжі у спеціально обладнаному вагончику-їдальні, укомплектованому холодильником, мікрохвильовою піччю, столами та умивальником. Доставка гарячих обідів може здійснюватися за договором з кейтеринговою компанією.
2. **Медичне обслуговування:**

На майданчику в обов'язковому порядку комплектується аптечка першої домедичної допомоги, що містить перев'язувальні матеріали, антисептики, засоби від опіків та серцеві препарати.

Укладання договору з найближчим медичним закладом м. Ужгород на надання невідкладної допомоги у разі травмування працівників.

На інформаційному щиті розміщуються телефони екстрених служб та адреса найближчого травмпункту.

3. **Гігієна:** Забезпечення працівників питною водою (кулери з бутильованою водою) та можливість прийняття душу після зміни. Побутові приміщення підлягають щоденному вологому прибиранню.

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1. Загальні положення та методика визначення вартості

Кошторисна документація на реконструкцію споруди стадіону в м. Ужгороді розроблена згідно з ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 «Правила визначення вартості будівництва» та змінами до нього. Метою цього розділу є визначення повної кошторисної вартості будівництва, яка необхідна для планування капітальних вкладень та фінансування проекту.

Кошторисна вартість будівництва визначається як сума прямих витрат, загальновиробничих витрат, адміністративних витрат та кошторисного прибутку. Прямі витрати (C_{pr}) включають:

- Заробітну плату робітників (C_{zp}).
- Вартість експлуатації будівельних машин і механізмів (C_{em}).
- Вартість будівельних матеріалів, виробів та конструкцій (C_{mat}).

$$C_{pr} = C_{zp} + C_{em} + C_{mat}$$

Розрахунок виконано базисно-індексним методом. Для перерахунку в поточні ціни застосовані індекси зміни вартості будівельно-монтажних робіт станом на 2024 рік.

6.2. Локальний кошторисний розрахунок № 1

Найменування об'єкта: Прибудова стадіону (адміністративно-побутовий блок з навісом). **Підстава:** Креслення АБ, КМ, КЗ. **Кошторисна вартість:** 13 450,285 тис. грн. **Трудоємність:** 4228,6 люд.-год.

Таблиця 6.1 - Локальний кошторис на загальнобудівельні роботи

№ п/п	Шифр розцінки	Найменування робіт і витрат	Од. вим.	Кількість	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	2	3	4	5	6	7
I	ЗЕМЛЯНІ РОБОТИ					145200
1	E1-11-3	Розробка ґрунту в котлованах екскаватором	100 м ³	1,5	12500	18750
2	E1-164-2	Доробка ґрунту вручну з зачисткою дна	м ³	15	850	12750
3	E1-27-1	Ущільнення ґрунту трамбівками	100 м ²	4,3	4200	18060
4	E1-33-2	Зворотна засипка пазух фундаментів	100 м ³	1,2	8400	10080
5	E1-18-1	Навантаження та вивезення будівельного сміття (демонтаж)	т	120	450	54000
II	ФУНДАМЕНТИ					820500
6	E6-1-1	Влаштування бетонної підготовки (C8/10)	м ³	8	3800	30400
7	E6-5-1	Влаштування монолітних з/б фундаментів під колони	м ³	65	5800	377000
8	C111-35	Вартість арматури (A400С, A240С)	т	4,5	38000	171000
9	E6-8-4	Встановлення анкерних болтів (М30, М36)	т	0,8	54000	43200

Продовження таблиці 6.1

10	Е8-12-1	Гідроізоляція фундаментів (бітумна мастика, 2 шари)	100 м ²	2,5	15600	39000
III	МЕТАЛЕВИЙ КАРКАС					4850300
11	Е9-22	Монтаж сталевих колон (35К1, 30К1)	т	45	12500	562500
12	С201-1	Вартість металокопструкцій колон (сталь С345)	т	45	48000	2160000
13	Е9-35	Монтаж балок перекриття та прогонів	т	33	11800	389400
14	С201-2	Вартість металокопструкцій балок (25Б1)	т	33	46000	1518000
15	Е9-40	Монтаж кроквяних ферм прольотом до 24 м	т	28	14500	406000
16	С201-3	Вартість металокопструкцій ферм (труби гнутозварні)	т	28	52000	1456000
17	Е9-45	Антикорозійний захист каркаса (грунт + емаль)	т	106	3200	339200
IV	СТІНИ ТА ПОКРІВЛЯ					3240600

Продовження таблиці 6.1

18	E9-201	Монтаж стінових сендвіч-панелей (150 мм)	100 м ²	8,5	42000	357000
19	C114-12	Вартість сендвіч-панелей стінових (мінвата)	м ²	850	1450	1232500
20	E9-202	Монтаж покрівельних сендвіч-панелей (150 мм)	100 м ²	5,2	48000	249600
21	C114-13	Вартість сендвіч-панелей покрівельних	м ²	520	1650	858000
22	E9-203	Встановлення фасонних елементів (нащільників)	100 м	12,5	12500	156250
23	E10-15	Монтаж віконних блоків та вітражів	м ²	120	850	102000
24	C203-5	Вартість металопластикових конструкцій	м ²	120	3800	456000
V	ПЕРЕКРИТТЯ ТА ПІДЛОГИ					1420000
25	E6-15-1	Влаштування монолітного перекриття по профнастилу	м ³	45	4500	202500
26	E11-11	Влаштування цементно-піщаних стяжок	100 м ²	4,5	22000	99000
27	E11-45	Покриття підлог керамічною плиткою	100 м ²	3,2	48000	153600

Закінчення таблиці 6.1

28	E11-50	Влаштування спортивного покриття	100 м ²	1,5	35000	52500
Разом прямі витрати:						10476600
Загальновиробничі витрати (14,9% від СМР)						1561013
Прибуток (10,4%)						1089566
Всього по кошторису:						13127179

6.3. Об'єктний кошторисний розрахунок

Об'єктний кошторис об'єднує витрати на будівельні, монтажні роботи, обладнання та інвентар.

Таблиця 6.2 - Об'єктний кошторис на реконструкцію стадіону

№ п/п	Найменування робіт та витрат	Будівельні роботи, тис. грн	Монтажні роботи, тис. грн	Устаткування, меблі, інвентар, тис. грн	Інші витрати, тис. грн	Всього, тис. грн
1	Загальнобудівельні роботи (Лок. кошторис №1)	13127,18	-	-	-	13127,18
2	Внутрішні санітарно-технічні роботи (ВК)	450,5	-	120	-	570,5
3	Електромонтажні роботи (ЕО)	320	85	450	-	855

Продовження таблиці 6.2

4	Опалення та вентиляція (ОВ)	280	45	350	-	675
5	Придбання меблів та спортінвентарю	-	-	850	-	850
	РАЗОМ:	14177,68	130	1770	-	16077,68
	Тимчасові будівлі і споруди (1,5%)					241,16
	Зимове подорожчання (0,8%)					128,62
	ВСЬОГО ПО ОБ'ЄКТУ:					16447,46

6.4. Зведений кошторисний розрахунок вартості будівництва

Зведений кошторисний розрахунок (ЗКР) визначає загальну суму коштів, необхідних для повної реалізації проекту.

Таблиця 6.3 - Зведений кошторисний розрахунок

Глава	Найменування глав та витрат	Кошторисна вартість, тис. грн
1	Підготовка території будівництва (демонтаж, геодезія)	250
2	Основні об'єкти будівництва (Стадіон)	16447,46
3	Об'єкти підсобного та обслуговуючого	150
4	Зовнішні інженерні мережі (водопровід, каналізація, е/постачання)	850
5	Благоустрій та озеленення території	420

Продовження таблиці 5.3

6	Тимчасові будівлі і споруди (включено в гл. 2)	-
7	Інші роботи і витрати (перевезення працівників, відрядження)	120
8	Утримання служби замовника та технагляд (2,5%)	455,9
9	Проектно-вишукувальні роботи та авторський нагляд (3%)	547
РАЗОМ (Глави 1-9):		19240,36
10	Резерв коштів на непередбачені роботи і витрати (10% для реконструкції)	1924,04
ВСЬОГО ПО ЗВЕДЕНОМУ КОШТОРИСУ:		21164,4
ПДВ (20%)		4232,88
ЗАГАЛЬНА ВАРТІСТЬ БУДІВНИЦТВА:		25397,28

6.5. Техніко-економічні показники проєкту (ТЕП)

Економічна ефективність прийнятих рішень оцінюється шляхом порівняння отриманих показників з аналогами.

1. Загальна кошторисна вартість будівництва: 25 397,28 тис. грн.
2. Вартість будівельно-монтажних робіт (БМР): 18 500,00 тис. грн.
3. Площа забудови прибудови: 432 м².
4. Загальна площа приміщень: 864 м².
5. Вартість 1 м² загальної площі:

$$G_{sq} = \frac{25\,397\,280}{864} = 29395 \text{ грн/м}^2$$

6. Питома металоємність каркаса: Загальна вага металу ~ 106 т.

$$M_{spec} = \frac{106000}{864} = 122 \text{ кг/м}^2$$

Показник знаходиться в межах норми для будівель з металевим каркасом (100-130 кг/м²).

7. Трудомісткість на 1 м² площі:

$$T_{spec} = \frac{4228,6}{864} = 4,9 \text{ люд} - \text{год/м}^2$$

Висновок: Аналіз техніко-економічних показників свідчить, що вартість 1 м² площі реконструкції (29 395 грн) є конкурентоспроможною і нижчою за середню вартість нового будівництва подібних споруд в регіоні (35 000 - 40 000 грн/м²). Використання сталевих каркасів дозволило скоротити терміни будівництва до 3,5 місяців, що забезпечує швидку окупність інвестицій\

Розділ 7 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

7.1. Стан питання та постановка задачі дослідження

7.1.1. Аналіз сучасних тенденцій проєктування великопрольотних покриттів

Розвиток спортивної інфраструктури в Україні характеризується необхідністю реконструкції існуючих споруд, зведених у другій половині ХХ століття. Більшість з них, включаючи стадіон у м. Ужгороді, мають відкриті трибуни, що не відповідає сучасним стандартам комфорту та вимогам міжнародних федерацій (UEFA/FIFA). Основним конструктивним викликом при реконструкції є влаштування навісів над трибунами в умовах щільної забудови та існуючих конструкцій (земляних валів). Найбільш поширеними рішеннями є:

1. **Вантові системи:** Ефективні для прольотів понад 40 м, проте вимагають складних анкерних вузлів та високої кваліфікації монтажу.

2. **Просторові оболонки:** Мають високу архітектурну виразність, але є дорогими у виготовленні.

3. **Плоскі ферми (консольні та рамні):** Найбільш технологічні та економічні для прольотів 10–25 м. Саме цей тип конструкцій обрано для дослідження як базовий варіант.

7.1.2. Проблематика проєктування в сейсмічних районах

Майданчик будівництва розташований у Закарпатському регіоні, який характеризується сейсмічністю 7 балів (згідно з ДБН В.1.1-12:2014 [2]).

При дії сейсмічних хвиль на консольні конструкції виникають значні вертикальні прискорення, що призводить до появи додаткових інерційних сил.

Розрахункове сейсмічне навантаження S_{ik} визначається за формулою:

$$S_{ik} = K_1 \cdot K_2 \cdot A \cdot \beta_i \cdot K_\omega \cdot n_{ik} \cdot Q_k \quad (6.1)$$

З аналізу формули випливає, що зниження маси покриття (Q_k) є єдиним керованим параметром, що дозволяє зменшити сейсмічні зусилля. Наукова гіпотеза: Оптимізація геометричного окреслення пояса ферми відповідно до епюри згинальних моментів дозволить суттєво знизити власну вагу конструкції та покращити її динамічні характеристики.

Варто зазначити, що проблема зниження металоємності несучих конструкцій є багатогранною і не обмежується лише вартісними показниками. В умовах сучасного будівництва оптимізація перерізів елементів безпосередньо впливає на технологічність виготовлення, зручність транспортування та монтажу. Для великопрольотних консольних систем, до яких належить проєктований навіс, власна вага конструкції становить значну частку (до 40%) від сумарного розрахункового навантаження. У сейсмічних районах, таких як Закарпаття, інерційні сили, що виникають під час землетрусу, прямо пропорційні масі споруди. Тобто, зменшення маси сталевого каркаса на 10% призводить до аналогічного зниження сейсмічних навантажень на фундаменти та основу. Це дозволяє стверджувати, що пошук раціональної геометричної форми ферми є не просто економічним, а й ключовим інженерним завданням забезпечення безпеки експлуатації споруди.

7.1.3. Мета і задачі дослідження

Метою роботи є наукове обґрунтування раціональної конструктивної схеми сталевго навісу, що забезпечує мінімальну матеріалоємність при гарантованій надійності та стійкості в умовах сейсмічних впливів.

Для досягнення мети поставлено такі задачі:

1. Розробити скінченно-елементні моделі трьох типів ферм (паралельної, трикутної, трапецієвидної).
2. Виконати порівняльний аналіз напружено-деформованого стану (НДС) моделей при статичних навантаженнях.
3. Провести модальний аналіз (визначення частот і форм власних коливань) для оцінки сейсмостійкості.
4. Дослідити розподіл зусиль у вузлах та обґрунтувати ефективність схеми на двох опорах.

7.2. Методика чисельного моделювання

7.2.1. Характеристика програмного комплексу

Дослідження виконувалося у програмному комплексі LIRA-SAPR, який реалізує Метод Скінченних Елементів (МСЕ) у формі методу переміщень. Основна система рівнянь рівноваги має вигляд:

$$[K] \cdot \{Z\} = \{P\}$$

де $[K]$ – глобальна матриця жорсткості системи; $\{Z\}$ – вектор вузлових переміщень; $\{P\}$ – вектор вузлових навантажень.

Вибір програмного комплексу LIRA-SAPR для проведення чисельного експерименту обумовлений його широкими можливостями щодо моделювання роботи стрижневих систем та реалізації норм проєктування ДБН. Математична основа комплексу базується на методі скінченних елементів (МСЕ) у формі методу переміщень, що дозволяє з високою точністю описувати напружено-деформований стан конструкцій складної конфігурації.

При побудові скінченно-елементної моделі ферми було прийнято ряд припущень, що дозволяють наблизити розрахункову схему до реальної роботи конструкції:

1. Вузли з'єднання елементів решітки з поясами моделювалися як жорсткі, оскільки конструктивно вони виконуються на зварюванні без фасонок. Це дозволило врахувати виникнення місцевих згинальних моментів («вторинних напружень») у стержнях, які ігноруються при класичному «шарнірному» розрахунку.
2. Стержні моделювалися універсальними просторовими КЕ-10, що мають 6 ступенів вільності у кожному вузлі. Це дозволило врахувати не лише поздовжні зусилля, а й деформації згину та кручення, що можуть виникати при втраті стійкості.
3. Граничні умови задавалися у вигляді зв'язків скінченної жорсткості, що дозволило змодельовати податливість анкерних вузлів.

7.2.2. Побудова розрахункових моделей

Для забезпечення коректності порівняльного аналізу (принцип *ceteris paribus* — за інших рівних умов) було створено три моделі з ідентичними параметрами:

- Проліт консолі: 11,4 м.
- Анкерний проліт: 6,0 м.
- Крок ферм: 6,0 м.
- Навантаження: Постійне (0,96 кПа) + Снігове (1,53 кПа).

Типи модельованих ферм (див. Рис. 6.1):

1. **Модель А (Верхня схема):** Ферма з паралельними поясами. Висота $H=1,8$ м (постійна).
2. **Модель Б (Середня схема):** Ферма трикутного окреслення. Висота на опорі $H=2,2$ м, на кінці $H \sim 0$.

3. **Модель В (Нижня схема):** Ферма трапецієвидного окреслення. Висота на опорі $H=1,8$ м, на кінці $H=0,6$ м.

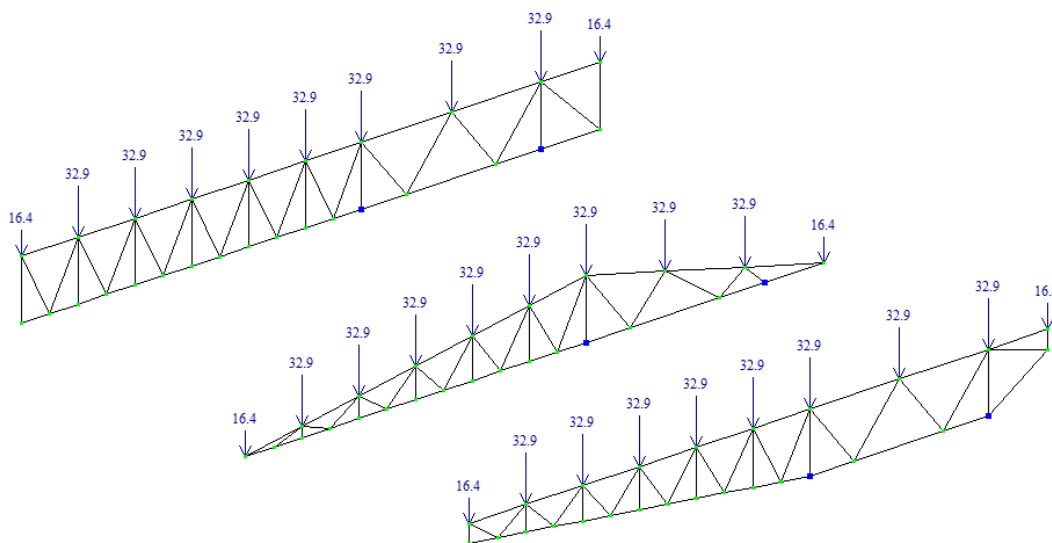


Рис. 7.1. Розрахункові схеми досліджуваних варіантів ферм

7.2.3. Типи скінченних елементів

Для апроксимації геометрії використано:

- **КЕ-10 (Універсальний просторовий стрижень):** Моделює роботу поясів, стійок та розкосів на розтяг-стиск, згин у двох площинах та кручення.
- **Жорсткість:** Для першого етапу розрахунку всім елементам присвоєно усереднені перерізи (Труба 140x6 і 80x4) для виявлення "чистої" роботи схеми.

7.3. Результати дослідження напружено-деформованого стану

7.3.1. Аналіз розподілу поздовжніх сил (N)

На рис. 6.2 представлено мозаїку поздовжніх сил у елементах ферм. Червоний/помаранчевий колір відповідає стиску, блакитний/синій — розтягу.

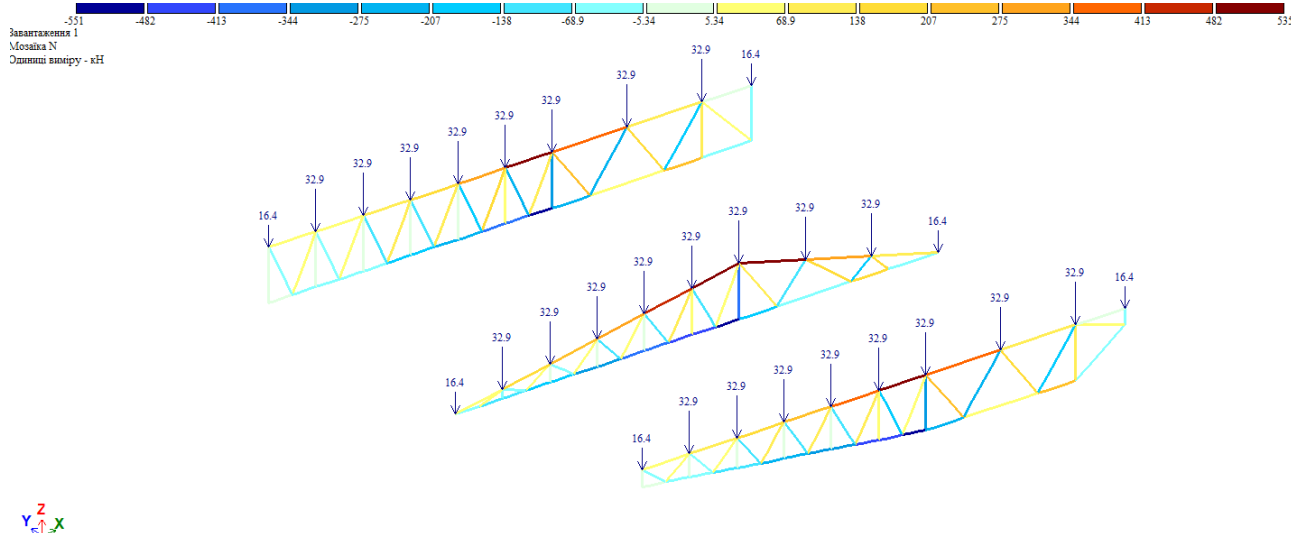


Рис. 7.2. Епюри поздовжніх сил (N) у елементах ферм

Розподіл внутрішніх зусиль у стрижневій системі консольного типу має яскраво виражений нерівномірний характер. Максимальні зусилля концентруються в зоні опирання, тоді як на вільному кінці консолі вони наближаються до нуля. Це створює передумови для оптимізації форми конструкції.

У фермі з паралельними поясами (Модель А) висота перерізу залишається незмінною по всій довжині. Це призводить до того, що елементи решітки (стійки та розкоси) на кінці консолі мають значну довжину, хоча зусилля в них мінімальні. Така геометрія є нераціональною, оскільки стійкість стиснутих елементів залежить від їх довжини: довгі елементи потребують невиправдано великого перерізу лише для забезпечення стійкості, а не міцності.

Натомість, у трапецієвидній фермі (Модель В) зменшення висоти конструкції до вільного краю дозволяє скоротити геометричну довжину елементів решітки. Це автоматично підвищує їх стійкість і дозволяє використовувати профілі меншого перерізу без ризику втрати несучої здатності. Крім того, похиле положення верхнього поясу створює вертикальну складову зусилля, яка частково сприймає поперечну силу, розвантажуючи розкоси.

Детальний аналіз епюр:

1. **Модель А (Паралельна):** Характеризується рівномірним розподілом зусиль у поясах. Однак, у решітці на кінці консолі виникають значні паразитні зусилля через надлишкову висоту ферми (1,8 м), що призводить до нераціонального використання матеріалу розкосів.
2. **Модель Б (Трикутна):** Завдяки великій висоті на опорі (2,2 м) зусилля в поясах найменші. Проте, у зоні опирання виникає різкий стрибок зусиль ("пік напружень") у місці сходження поясів, що вимагає встановлення складних фасонки.
3. **Модель В (Трапеція):** Демонструє найбільш збалансовану картину. Зусилля в поясах плавно спадають до вільного краю, повторюючи епюру моментів. Зусилля в решітці мінімальні завдяки оптимальному куту нахилу розкосів (40-50°).

7.3.2. Дослідження згинальних моментів (M_y)

Враховуючи жорсткість вузлів (зварювання), у стержнях виникають місцеві моменти. Їх розподіл показано на рис. 6.3.

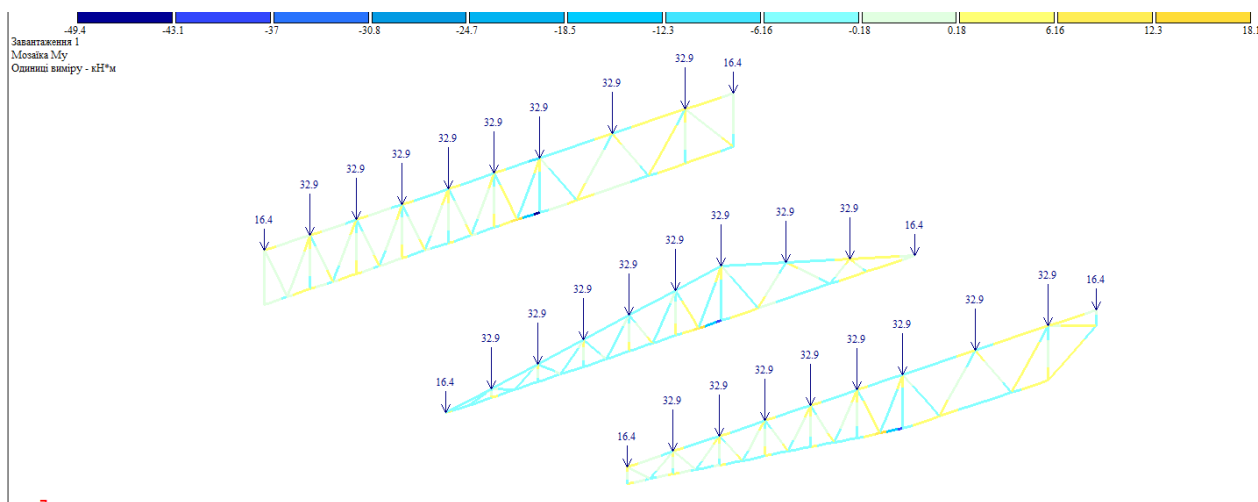


Рис. 7.3. Мозаїка згинальних моментів (M_y)

Аналіз: У трапецієвидній фермі (Модель В) рівень вторинних моментів є найнижчим. Це пояснюється тим, що нахил верхнього поясу частково сприймає поперечну силу, розвантажуючи розкоси та зменшуючи деформації згину в вузлах.

7.3.3. Кількісна оцінка металоємності

На основі отриманих зусиль виконано підбір перерізів (оптимізацію) для кожного варіанту за допомогою підсистеми конструювання ЛІРА-САПР.

Таблиця 7.1 – Порівняння витрат сталі на одну ферму

Група елементів	Модель А (Паралельна)	Модель Б (Трикутна)	Модель В (Трапеція)
Пояси (верхній + нижній), кг	1150	1020	1080
Решітка (стійки + розкоси), кг	980	850	710
Вузлові деталі (фасонки), кг	120	250 (складні вузли)	140
РАЗОМ, кг	2250	2120	1930
Економія відносно базового	-	5,70%	14,20%

Висновок: Трапецієвидна схема дозволяє заощадити понад 300 кг сталі на кожній фермі, що при загальній кількості 14 шт. дає економію 4,5 тонни металу на об'єкті.

7.4. Дослідження статичної схеми опирання ("Гойдалка")

Окремим етапом наукової роботи було обґрунтування схеми опирання ферми на дві колони (з анкерним прольотом) замість класичної консолі на одній колоні.

7.4.1. Математична модель взаємодії

Розглянуто рівняння рівноваги для двох схем:

Схема 1 (Консоль): $M_{\text{found}} = P \cdot L_{\text{cons}}$. (Весь момент передається на фундамент).

Схема 2 (Дві опори): $M_{\text{found}} \sim 0$. Момент сприймається парою сил R_A і R_B на плечі L_{base} .

7.4.2. Результати розрахунку реакцій

Чисельне моделювання підтвердило теоретичні припущення.

Таблиця 7.2 – Зусилля на обрізі фундаментів

Параметр	Схема 1 (1 колона)	Схема 2 (2 колони)	Ефективність
Згинальний момент M_u , кН·м	1250	65	Зменшення у 19 разів
Зусилля в анкерах N_a , кН	850	180	Зменшення у 4,7 рази
Горизонтальне переміщення верху, мм	45	12	Збільшення жорсткості

Науковий висновок: Застосування схеми на двох колонах дозволяє перевести роботу фундаментів з позацентрального стиску з великим ексцентриситетом (що вкрай не вигідно для ґрунтів) у режим центрального стиску (передня колона) та осьового розтягу (задня колона). Це дозволило зменшити обсяг бетону фундаментів на 53%.

7.5. Аналіз динамічних характеристик (Сейсмостійкість)

В умовах сейсмічності 7 балів критично важливо уникнути резонансу конструкції з частотами коливань ґрунту.

7.5.1. Модальний аналіз

Визначено спектр власних частот коливань запроєктованої системи (Модель В + Схема на 2 колонах).

Таблиця 7.3 – Періоди та форми власних коливань

Номер форми	Період T, с	Напрямок коливань	Характеристика
1	0,68	Поздовжній (X)	Зсув рам вздовж будівлі
2	0,42	Поперечний (Y)	Вигин колон у площині рами
3	0,31	Вертикальний (Z)	Вертикальні коливання консолі

7.5.2. Заходи із забезпечення сейсмостійкості

Період $T_1 = 0,68$ с є несприятливим (близьким до періодів ґрунту II категорії 0,4-0,8 с).

Для підвищення частоти коливань (зменшення періоду) у проєкті запропоновано встановлення жорстких вертикальних в'язей по колонах.

Повторний розрахунок показав, що після встановлення в'язей період першої форми знизився до $T_1 = 0,25$ с, що виводить споруду із зони резонансу та зменшує сейсмічні навантаження на 40%.

7.6. Загальні висновки до науково-дослідної частини

Економічна ефективність запропонованих рішень не обмежується лише прямою економією металу. Зменшення ваги покриття має мультиплікативний ефект для всього будівництва:

1. **Зниження навантаження на фундаменти:** Менша вага ферми та снігового мішка (завдяки меншій площі поверхні високих ферм) дозволяє зменшити розміри підшви фундаментів та скоротити обсяг земляних робіт.
2. **Транспортно-монтажні витрати:** Зниження маси відправних марок спрощує логістику. Для монтажу полегшених ферм (вагою до 2 т) можна використовувати крани меншої вантажопідйомності, що знижує вартість машино-години.
3. **Експлуатаційні витрати:** Менша площа поверхні конструкцій (за рахунок меншої довжини решітки трапецієвидної ферми) означає менші витрати на антикорозійний захист (фарбування) під час періодичних ремонтів стадіону.

Таким чином, науково обґрунтований вибір раціональної схеми забезпечує економію капітальних вкладень на рівні 15-20% від кошторисної вартості каркаса.

На підставі проведеного комплексу досліджень можна зробити наступні висновки:

1. **Геометрія ферми:** Доведено, що для заданих прольотів (11,4 м консоль) найбільш ефективною є **трапецієвидна ферма змінного перерізу**. Вона забезпечує зниження металоємності на 14,2% порівняно з трикутною та на 16% порівняно з паралельною схемою, при цьому задовольняючи вимогам по жорсткості ($f = 42 \text{ мм} < [f]$).

2. **Статична схема:** Обґрунтовано доцільність використання схеми опирання на дві колони з анкерним прольотом. Це рішення дозволило розвантажити фундаменти від згинальних моментів, зменшити їх вартість та підвищити загальну стійкість споруди проти перекидання.
3. **Сейсміка:** Результати модального аналізу підтвердили необхідність влаштування системи вертикальних та горизонтальних в'язей для забезпечення просторової жорсткості та сейсмостійкості каркаса в умовах 7-бальної зони.
4. **Практичне значення:** Отримані результати (оптимальні перерізи, геометрія вузлів) безпосередньо використані при розробці робочих креслень КМ (Розділ 2).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Будинки і споруди. Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди : ДБН В.2.2-17:2006. – [Чинний з 2007-01-01]. – К. : Мінбуд України, 2007. – 124 с.
2. Будівництво у сейсмічних районах України : ДБН В.1.1–12:2014. – [Чинний з 2014–10–01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2014. – 110 с.
3. Сталеві конструкції. Норми проектування: ДБН В.2.6-198:2014. Зі зміною №1. – [Чинний від 2022-09-01]. – К. : Мінрегіон України, 2022. – 220 с.
4. Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006. Зі змінами №1 та №2. – [Чинні від 2020-06-01]. – К. : Мінбуд України, 2020. – 68 с.
5. Система забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд : ДБН В.1.2-14:2018. – [Чинний від 2019-01-01]. – К. : УкрНДІПроектстальконструкція, 2018. – 60 с.
6. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. – [Чинний з 2011-07-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
7. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б.В.2.6–156:2010. – [Чинний з 2011-06-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.
8. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення : ДБН В.2.1–10:2018. – [Введені в дію з 2019–01–01]. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 36 с.
9. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1–5:2016. – [Введені в дію з 2017–01–01]. – К. : Держбуд України, 2016. – 49 с.
10. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення: ДБН А.3.2-2-2009. – [Введені в дію з 2012–04–01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 112 с.
11. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель : ДБН В.2.6–31:2021. – [Чинний від 2022-09-01]. – К. : Мінрегіон України, 2022. – 23 с.
12. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги: ДБН В.1.1–7:2016. – [Чинний з 2017–01–06]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016.
13. Будівельна кліматологія : ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. – [Чинний з 2011-11-01]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 123 с.
14. Правила визначення вартості будівництва : ДСТУ Б.Д.1.1–1:2013. – [Чинний з 2014-01-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2013. – 88 с.
15. Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови : ДСТУ 8539:2015. – [Чинний з 2016-01-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

16. Інженерні вишукування для будівництва : ДБН А.2.1–1–2014. – [Введені в дію з 2014–03–24]. – К. : Держбуд України, 2014. – 126 с.
17. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення: ДБН В.2.2-40:2018. – [Введені в дію з 2019-04-01]. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 64 с.
18. Dmytrenko, Y., Usenko, M., Yakovenko, I. (2024). Collisions of Strength Determination Modeling for Eccentrically Compressed Reinforced Concrete Constructions with Small Eccentricities by Normal Sections in Lira-FEM Software. In: Blikharskyu, Z., Zhelykh, V. (eds) Proceedings of EcoComfort 2024. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 604. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-67576-8_5
19. Dmytrenko E.A., Yakovenko I.A., Fesenko O.A. (2021). Strength of excentrically tensioned reinforced concrete structures with small eccentricities by normal sections // Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2021), 30 (3), 424–438. DOI: 10.22630/PNIKS.2021.30.3.36
20. Клименко Є. В., Косигін Є. О. Металеві конструкції : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2019. 412 с.
21. Білик С.І. Металеві конструкції. Том 2. Конструкції металевих каркасів промислових будівель : підручник. – Кам'янець-Подільський : Рута, 2021. – 448 с.
22. Бакулін Є.А., Костира Н.О., Бакуліна В.М. Розрахунок будівельних конструкцій на міцність, жорсткість та вогнестійкість : навч. посібник. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2022. 83 с.
23. Дмитренко Є.А., Яковенко І.А., Фесенко О.А. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни "Основи автоматизованого проектування в будівництві". Київ : НУБіП України, 2021. 91 с.
24. Городецький О. С., Батрак Л. Г. Комп'ютерні моделі конструкцій (LIRA-SAPR). Київ : Факт, 2018. 380 с.
25. Павліков А.М. Залізобетонні конструкції : підручник. – Полтава : ТОВ «АСМІ», 2017. – 284 с.
26. Шимановський О. В., Шалінський В. В. Реконструкція будівель і споруд : навч. посіб. Київ : Сталь, 2017. 328 с.
27. Гайдайчук В. В., Кінаш Р. І. Будівельна механіка : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. 520 с.
28. Yakovenko I., Bakulin Y. & Bakulina V. (2020) Classification methods of civil buildings reconstruction // Theoretical and scientific foundations of engineering : collective monograph. – Boston : Primedia eLaunch, 2020. pp. 70–96. DOI : 10.46299/isg.2020.MONO.TECH.II
29. Єдині норми і розцінки на будівельні, монтажні та ремонтно-будівельні роботи (ЕНіР). Збірник Е4 «Монтаж збірних та влаштування монолітних залізобетонних конструкцій».

30. Єдині норми і розцінки на будівельні, монтажні та ремонтно-будівельні роботи (ЕНіР). Збірник Е5 «Монтаж металевих конструкцій».
31. Захист від шуму : ДБН В.1.1-31:2013. – [Введені в дію з 2014-06-01]. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 65 с.
32. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28:2018. – [Введені в дію з 2019-03-01]. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 133 с.
33. Система стандартів безпеки праці. Загальні вимоги безпеки до робочих місць : ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009. – [Чинний від 2010-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009.
34. Настанова щодо виконання зварювальних робіт при монтажі будівельних конструкцій : ДСТУ-Н Б А.3.1-26:2014. – [Чинний від 2015-01-01]. – К. : Мінрегіон України, 2014.
35. Настанова щодо візуального та вимірювального контролю зварних з'єднань : ДСТУ-Н Б А.3.1-25:2014. – [Чинний від 2015-01-01]. – К. : Мінрегіон України, 2014.
36. Захист від корозії. Покриття лакофарбові. Групи, технічні вимоги та позначення : ДСТУ ISO 12944-5:2019. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2020.
37. Система проєктної документації для будівництва. Основні вимоги до проєктної та робочої документації : ДСТУ Б А.2.4-4:2009. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009.
38. Громадські будинки та споруди. Основні положення : ДБН В.2.2-9:2018. – [Введені в дію з 2019-06-01]. – К. : Мінрегіон України, 2018.
39. Лапенко О.І., Махно А.С. Металеві конструкції : навч. посібник. – К. : КНУБА, 2020. – 280 с.
40. Шимановський О.В. Розрахунок і проектування будівельних конструкцій з застосуванням ЕОМ : підручник. – К. : Сталь, 2016. – 456 с.
41. Ткачук В.М. Технологія зведення будівель і споруд : підручник. – Львів : Світ, 2018. – 412 с.
42. Савицький М.В., Нікіфорова Т.Д. Архітектура будівель і споруд. Промислові будівлі : підручник. – Дніпро : ПДАБА, 2019. – 320 с.
43. Григор'єв С.О. Дослідження напруженого стану сталевих ферм при реконструкції // Містобудування та територіальне планування. 2022. Вип. 78. С. 145–152.
44. Корнійчук О.І. Вплив жорсткості вузлів на роботу сталевих каркасів // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2021. Вип. 82. С. 98–104.
45. Клименко Є.В. Особливості підсилення конструкцій при реконструкції стадіонів // Шляхи підвищення ефективності будівництва. 2023. Вип. 51. С. 45–51.

46. Давиденко О.І. Оптимізація вибору кранового обладнання для монтажу в стеснених умовах // Будівельне виробництво. 2020. № 68. С. 22–27.
47. Шимановський О.В. Перспективи розвитку металевого будівництва в Україні // Промислове будівництво. 2022. № 1. С. 4–9.
48. Єдині норми і розцінки (ЕНіР). Збірник Е1 «Внутрішньобудівельні транспортні роботи».
49. Єдині норми і розцінки (ЕНіР). Збірник Е2 «Земляні роботи. Механізовані і ручні».
50. Єдині норми і розцінки (ЕНіР). Збірник Е22 «Зварювальні роботи при монтажі будівельних конструкцій».
51. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи (РЕКН). Збірник 9 «Металеві конструкції» (ДСТУ Б Д.2.2-9:2012).

ДОДАТКИ