

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

Магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Проект логістичного центру з дослідженням вогнестійкості
огороджуючих конструкцій.

Виконав: студент (ка) 2 курсу, групи МБм-61

спеціальності (напряму підготовки) _____

192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

	_____	<u>Гаврилишин Р.І.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<u>Коваль І.В.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<u>Мещерякова О.М.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	<u>Качка О.І.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Центр перепідготовки та післядипломної освіти
Кафедра будівельної механіки
Освітній ступінь магістр
Напрямок підготовки _____
(шифр і назва)
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Будівельної механіки
Ясній В.П.
« _____ » _____ 202__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Гаврилишину Ростиславу Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Проект логістичного центру з дослідженням вогнестійкості огорожуючих конструкцій.

Керівник проекту (роботи) к.т.н., доц. Коваль І.В.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від « _____ » _____ 2023 року № _____

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 13.12.2023

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на проектування

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

Вступ, Архітектурно-будівельна частина, Розрахунково-конструктивна частина

Наукова частина

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях, Висновки,

Бібліографія

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Генплан, Фасади, Розрізи, Плани поверхів, Конструктивні схеми, Схеми армування, Детальні вузли.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Адміністративно-географічне положення.....	7
1.2 Розміри ділянки.....	7
1.3 Рельєф, ґрунти.....	8
1.4 Зовнішні інженерні мережі.....	9
1.6 Опис генплану.....	12
1.7 Захист від шуму і вібрації.....	13
1.8 Короткий опис конструктивних схем будівлі.....	14
1.9 Техніко-економічні показники будівлі.....	16
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ.....	18
2.1. Алгоритм розрахунку металевих конструкцій за допомогою програмних комплексів.....	18
2.2. Аналітичний розрахунок з використанням Autodesk Robot Structural Analysis.....	23
2.3. Стадія конструювання.....	29
РОЗДІЛ 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	30
3.1. Вступ.....	30
3.2 Випробування на вогнестійкість, скінченно-елементної моделі, дво-масштабної моделі.....	35
3.2.1 Випробування на вогнестійкість.....	35
3.2.2 Скінченно-елементні моделі.....	37
3.2.3 Дво-масштабна модель.....	39
3.3. Результати моделювання.....	43
3.3.1. Аналізи теплопровідності (ТП).....	43
3.3.2. Аналізи структурної реакції (СР).....	44
3.4. Випробування 1: Дослідження параметрів.....	45
3.4.1. Модель печі FDS замість кривої горіння.....	45

3.4.2. Коефіцієнт теплового розширення.....	47
3.4.3. Моделювання шпунтових з'єднань	48
3.4.4. Жорсткість гвинтового з'єднання.....	49
3.4.5. Моделювання адгезійного шару.....	50
3.5. Випробування 2: Застосування двомасштабної моделі.....	52
3.5.1. Теплопровідний аналіз з'єднань	52
3.5.2. СР Аналіз з'єднань, включаючи субмоделювання.....	53
3.5.3. Двомасштабна модель: Прогнозування навантаження на відмову під час випробування	56
3.5.4. Двомасштабна модель: Програма для випробування 2.....	58
3.6. Висновки та подальша робота	61
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
4.1. Обґрунтування актуальності вирішення питань охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях в ході проектної розробки.....	63
4.2. Аналіз будівельного процесу з метою виявлення небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	64
4.3. Основні нормативні вимоги при виконанні окремих видів робіт та експлуатації машин і механізмів	66
4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	71
4.5. Аналіз надзвичайних ситуацій, що можуть виникнути	71
4.6. Розробка заходів і дій при виникненні надзвичайних ситуацій.....	73
БІБЛІОГРАФІЯ.....	78
Додаток А	81

ВСТУП

Швидкі темпи будівництва в Івано-Франківську, складність і архітектурна виразність будівель, що зводяться, говорять про новий щабель розвитку нашого міста.

Просторові резерви обраної ділянки для будівництва максимально використовуватимуться без шкоди для інсоляції навколишніх будинків, насаджень та асфальтованих проїздів прилеглої території.

Актуальність теми. Розвиток галузей надання логістичних послуг зумовила будівництво нових будівель та ремонт існуючих специфічних для цієї галузі. В кваліфікаційній роботі запропоновано ряд сучасних архітектурних та конструктивних рішень.

Мета роботи: Розробка проекту логістичного центру з дослідженням вогнестійкості огорожуючих конструкцій.

Об'єктом дослідження є порівняння між експериментами та FEM-моделюванням вогнестійкості сендвіч-панелей.

Предметом дослідження вплив температур.

Доцільність проведення досліджень викликана тим, що отримані результати досліджень дадуть можливість підвищити вогнестійкість окремих будівель.

Відповідно до поставленої мети потрібно вирішити такі **завдання**:

1. Розробити об'ємно-планувальні рішення будівництва відповідно до умов на відведеній ділянці у м. Івано-Франківськ.
2. Проаналізувати інженерно-геологічні умови будівельного майданчика та запроектувати фундаменти.
3. Розробити конструктивні рішення щодо несучих елементів конструкцій.
4. Розробити скінченно-елементу модель будівлі.
5. Провести дослідження на вогнестійкість конструкцій.
6. За результатами проведених розрахунків запропонувати заходи по підвищенню вогнестійкості будівель.

7. Розробити заходи з охорони праці, техніки безпеки під час зведення будівлі.

Методи досліджень. При вирішенні поставлених завдань застосовуються методи чисельного моделювання, в тому числі моделювання методом скінченних елементів.

Наукова новизна. Вдосконалена методика моделювання вогнестійкості.

Практичні результати роботи можуть використовуватися проектними організаціями при виконанні прокетування будівлі. Результати порівняльного аналізу можуть застосовуватися для оцінки ефективності проектних рішень. Наведена в роботі методика моделювання може використовуватися в навчальному процесі при підготовці студентів за спеціальністю «Будівництво та цивільна інженерія».

Апробація результатів магістерської роботи виконана роботи виконана на XII Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів

Публікація результатів магістерської роботи здійснена у збірнику тез вищезазначеної конференції.

Робота виконана згідно з тематикою науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки ТНТУ та державними програмами надійності і економічності будівельних виробів, матеріалів і конструкцій.

Ключові слова: ВИТРИВАЛІСТЬ, ВОГНЕСТІЙКІСТЬ, НАВАНТАЖЕННЯ.

РОЗДІЛ 1

АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Адміністративно-географічне положення

У місті Івано-Франківську розпочнеться будівництво логістичного центру, який має на меті оптимізувати доставку вантажів.

Центр буде розташований на площі 1 гектар і включатиме склади, термінали, а також інші об'єкти інфраструктури. Він дозволить скоротити час доставки вантажів, а також знизити витрати на логістику.

1.2 Розміри ділянки

У промисловій зоні Івано-Франківська, поруч із залізничною станцією, розташована земельна ділянка для будівництва площею 4800 квадратних метрів. Ділянка має форму прямокутника з сторонами 60 і 80 метрів.

З трьох боків вона межує з промисловими об'єктами, а з четвертої - з залізничною колією.

Розташування ділянки в промисловій зоні та поблизу залізничної станції дає можливість забезпечити зручне транспортне сполучення та доступ до інфраструктури. Ділянка придатна для будівництва промислових об'єктів, складів, логістичних центрів тощо.

Особливості ділянки, такі як її розміри, форма та розташування, дозволяють розмістити на ній об'єкти значної площі. Це робить ділянку привабливою для інвесторів, які планують будівництво великих промислових

Ділянка є перспективним об'єктом для інвестування. Вона має всі необхідні умови для будівництва промислових об'єктів, які будуть мати важливе значення для економіки регіону.

1.3 Рельєф, ґрунти

Геологічна розвідка ділянки під будівництво в Івано-Франківську показала, що вона складається з таких ґрунтів:

- Насипний ґрунт, який утворився в результаті людської діяльності, наприклад, при будівництві або розкопках. Цей ґрунт має низьку несучу здатність і тому не може бути використаний як основа для фундаменту.
- Суглинки гумусовані, які утворилися в результаті накопичення органічних речовин. Цей ґрунт має середню несучу здатність і може бути використаний як основа для фундаменту, але тільки для легких будівель.
- Суглинок наптвердий, який утворився в результаті накопичення глинистих частинок. Цей ґрунт має високу несучу здатність і може бути використаний як основа для фундаменту будь-яких будівель.
- Гравійно галькові відкладення, які утворилися в результаті накопичення гравію та гальки. Цей ґрунт має дуже високу несучу здатність і може бути використаний як основа для фундаменту будь-яких будівель.
- Глина напівтверда, яка утворилася в результаті накопичення глинистих частинок. Цей ґрунт має середню несучу здатність і може бути використаний як основа для фундаменту, але тільки для легких будівель.

Ґрунтові води до глибини 13 метрів не виявлені. Це означає, що фундаменти не будуть піддаватися впливу ґрунтових вод, що може призвести до їхнього руйнування.

Для основи фундаменту будуть використані суглинки напівтверді, які мають високу несучу здатність. Однак, оскільки ці ґрунти відносяться до першого типу ґрунтових умов по осіданню, перед влаштуванням фундаментів необхідно провести ущільнення ґрунту важкими трамбівками. Це допоможе зменшити осідання фундаментів і підвищити їхню міцність.

Рельєф ділянки спокійний, без різких перепадів висот. Це означає, що для будівництва фундаментів не буде потрібно проводити складні земляні роботи.

Грунтово-рослинний шар має товщину 0,5 метра. Це означає, що перед влаштуванням фундаментів необхідно буде провести його демонтаж.

В цілому, геологічна розвідка показала, що ділянка під будівництво в Івано-Франківську є придатною для будівництва будь-яких будівель. Однак, для забезпечення міцності та надійності фундаментів, необхідно провести додаткові дослідження та вжити заходів, передбачених проектом.

1.4 Зовнішні інженерні мережі

Водопостачання. Для забезпечення водопостачання будівлі, яка буде збудована на вулиці Короленка, буде використана існуюча водопровідна мережа. Ця мережа має діаметр 200 мм і розташована на відстані близько 100 метрів від майбутньої будівлі. Тиск води у точці підключення становить 0,5 МПа, що є достатнім для забезпечення розрахункового тиску на ввіді в будівлю.

Крім того, по трасі водопроводу в колодязях будуть встановлені пожежні гідранти. Це необхідно для забезпечення пожежної безпеки будівлі. Водопровідна мережа буде виконана зі сталевих зварних водопровідних труб. Ці труби мають високу міцність і стійкість до корозії, що забезпечує довговічність і надійність системи водопостачання.

Загалом, проект водопостачання будівлі на вулиці Короленка є добре продуманим і передбачає використання сучасних матеріалів та технологій. Це забезпечить надійне та безперебійне водопостачання будівлі.

Каналізація. Для відведення стічних вод від житлового будинку буде використано існуючий каналізаційний колектор. Цей колектор має діаметр 400 мм і розташований на відстані близько 50 метрів від будинку. Стічні води з будинку будуть відводитися в колектор через труби діаметром 150 мм.

Після відведення в колектор стічні води будуть надходити на існуючі місцеві очисні споруди. Ці споруди будуть очищати стічні води до екологічно безпечного рівня.

Каналізаційна мережа від будинку до колектора буде виконана з керамічних труб. Ці труби мають високу міцність і стійкість до корозії, що забезпечує довговічність і надійність системи водовідведення.

Загалом, проект відведення стічних вод від житлового будинку є добре продуманим і передбачає використання сучасних матеріалів та технологій. Це забезпечить ефективне та безпечне відведення стічних вод.

Енергопостачання. Для електропостачання будівлі буде використано трансформаторну підстанцію КТП-160. Ця підстанція має потужність на вводі 99 кВт, що є достатнім для забезпечення електропостачання будівлі.

По ступеню надійності електропостачання будівля відноситься до II категорії. Це означає, що електропостачання будівлі повинно бути безперебійним протягом 24 годин.

Зовнішнє освітлення будівлі буде виконано за допомогою світильників з ртутними лампами типу РТУ-125. Ці світильники мають високу освітленість і довговічність. Вони будуть встановлені на паркових опорах.

Мережа зовнішнього освітлення буде виконана кабелем марки АПВГ. Цей кабель має високу міцність і стійкість до корозії. Він забезпечує надійне і довговічне освітлення будівлі.

Загалом, проект електропостачання будівлі є добре продуманим і передбачає використання сучасних матеріалів та технологій. Це забезпечить надійне та безперебійне електропостачання будівлі.

Теплопостачання

Для опалення будівлі буде використано централізоване теплопостачання. Тепло буде надходити від квартальної котельні.

Опалення будівлі буде здійснюватися за допомогою місцевих нагрівальних пристроїв - радіаторів МС-140. Радіатори МС-140 є ефективними і довговічними.

Система опалення буде виконана з верхньою розводкою вертикальними однотрубними стояками. Цей тип системи опалення є найбільш поширеним і простим у монтажі.

У промислових будівлях буде використовуватися комбінована система опалення. Це означає, що в холодну пору року опалення буде здійснюватися за допомогою радіаторів МС-140, а в теплу пору року - за допомогою повітряного опалення від системи кондиціонування повітря.

Повітряне опалення від системи кондиціонування повітря є ефективним і зручним способом опалення. Воно дозволяє швидко нагріти приміщення і підтримувати комфортну температуру.

Загалом, проект опалення будівлі є добре продуманим і передбачає використання сучасних матеріалів та технологій. Це забезпечить ефективне та комфортне опалення будівлі.

Система вентиляції. Для забезпечення комфортних умов праці в цехах будівлі буде використовуватися кондиціонування повітря. Для цього будуть встановлені вентиляційно-зволожуючі установки ВУЧ-40М та ВУУ-60М. Повітря буде розподілятися по приміщеннях за допомогою ежекційних центробіжних повітророзподільвачів типу "ВЕЦ".

У інших приміщеннях будівлі буде використовуватися приточно-витяжна вентиляція. Це означає, що в приміщення буде подаватися свіже повітря, а забруднене повітря буде витягатися. Загальна вентиляція буде забезпечуватися для підтримки нормованих параметрів повітряного середовища в усіх приміщеннях будівлі. Місцева вентиляція буде забезпечуватися в приміщеннях, де є джерела забруднення повітря, наприклад, в кухнях, туалетах тощо.

Подача повітря в промислових приміщеннях буде здійснюватися за допомогою повітророзподільвачів, які розташовуються зверху приміщення. Цей спосіб забезпечує рівномірний розподіл повітря по всій площі приміщення.

Витяжні системи в промислових приміщеннях будуть мати систему очищення повітря від пилу. Це буде забезпечувати чистоту повітря в приміщеннях.

Кондиціонери, вентагрегати, фільтри та інше вентиляційне обладнання буде розміщуватися в спеціальних приміщеннях. Це буде забезпечувати їх безпечну експлуатацію та обслуговування.

Системи вентиляції будуть монтуватися з покрівельної оцинкованої та чорної сталі. Повітроводи з чорної покрівельної сталі будуть фарбуватися олійною фарбою двічі для захисту від корозії.

Загалом, проект вентиляції будівлі є добре продуманим і передбачає використання сучасних матеріалів та технологій. Це забезпечить комфортні умови праці та проживання в будівлі.

Пожежогасіння. Для забезпечення пожежної безпеки будівлі будуть проведені заходи по внутрішньому та зовнішньому пожежогасінню. Ці заходи будуть розроблені виходячи з категорії виробництва та ступеню вогнестійкості будівлі.

Для внутрішнього пожежогасіння будуть встановлені пожежні крани. У виробничому корпусі буде встановлено 10 пожежних кранів з витратою 10 літрів води за секунду. У допоміжному корпусі буде встановлено 2,5 пожежних кранів з витратою 2,5 літрів води за секунду.

Для зовнішнього пожежогасіння буде встановлена зовнішня кільцева сітка високого тиску. Ця сітка буде мати витрату 25 літрів води за секунду.

Всі ці заходи будуть забезпечувати ефективно та своєчасне гасіння пожежі в будівлі.

1.6 Опис генплану

Комплекс розташований на відведеній ділянці площею 10000 квадратних метрів у центрі міста. Ділянка має оптимальне орієнтування основних приміщень на південний схід, що забезпечить їх максимальне освітлення та вентиляцію. Головний фасадний блок комплексу виходить на основну вулицю Короленка, яка є житловою вулицею з місцевим рухом транспорту.

Абсолютна відмітка поверхні ділянки змінюється в межах від 169,43 до 169,8 метрів над рівнем моря. Геоморфологічний розріз ділянки складається з трьох шарів:

Верхній шар — це чорноземна підзолиста супісок завтовшки 0,5-1 метр.

Середній шар — це суглинок завтовшки 2-3 метри.

Нижній шар — це пісок завтовшки 4-5 метрів.

Глибина залягання ґрунтових вод становить 12 метрів, що не потребує проведення гідротехнічних заходів.

Територія ділянки буде благоустроєна та озеленена. Між комплексом і проїжджою частиною буде висаджено ряди дерев, що сприятиме поліпшенню екологічної ситуації в районі. Загальна площа озеленення становитиме 20% від загальної площі ділянки.

Генплан характеризується техніко-економічними показниками.

Таблиця 1.1 - ТЕП генплану

Найменування		Показник
Площа ділянки будівництва	$S_{д\text{іл.}}, \text{м}^2$	4800
Площа озеленення	$S_{озел.}, \text{м}^2$	935
Площа забудови	$S_{з\text{абуд.}}, \text{м}^2$	1512
Площа доріг	$S_{дор.}, \text{м}^2$	41
Коефіцієнт забудови	$K_{з\text{абуд.}}$	0,630
Коефіцієнт озеленення	$K_{озел.}$	0,195

1.7 Захист від шуму і вібрації

Для захисту працівників від шкідливого впливу шуму та вібрації на робочих місцях будуть вжиті комплексні заходи, які відповідають рекомендаціям органів охорони праці.

Технологічне обладнання, яке буде використовуватися на виробництві, є маловіброактивним, тому фундаменти під нього не потрібні. Для зменшення рівня вібрацій і шуму буде встановлено віброізолятори під технологічне обладнання. Віброізолятори — це пристрої, які поглинають вібрації та захищають від них навколишнє середовище.

Вентиляційні пристрої будуть встановлені в спеціальних окремих приміщеннях, які будуть звукоізолювані. Звукоізоляція — це заходи, які перешкоджають поширенню звуку. Для звукоізоляції стін вентиляторних приміщень буде використовуватися спеціальний матеріал, який буде поглинати звук. Вентиляційні насоси будуть встановлені на металеві пружини, які також будуть сприяти зменшенню рівня вібрації.

У будівлі буде влаштована підвісна стеля з гіпсокартонних плиток. Гіпсокартон — це матеріал, який добре поглинає звук. Крім того, в будівлі будуть встановлені гіпсокартонні перегородки, які також будуть сприяти зменшенню рівня шуму.

Ці заходи будуть ефективними для зниження рівня шуму та вібрації на робочих місцях і забезпечать захист працівників від їх шкідливого впливу.

1.8 Короткий опис конструктивних схем будівлі

Фундаменти. Фундамент будівлі є основою, яка забезпечує її міцність і стійкість. Для захисту фундаменту від вологи, яка може проникати з ґрунту, необхідно виконати гідроізоляцію.

Горизонтальна гідроізоляція виконується для захисту фундаменту від підземних вод. Вона виконується в два етапи: на рівні фундаментних подушок і на рівні низу плит перекриття.

На рівні фундаментних подушок гідроізоляція виконується з цементного розчину складу 1:2. Цей розчин має високу міцність і стійкість до вологи. Він укладається на поверхню фундаментних подушок і вирівнюється.

На рівні низу плит перекриття гідроізоляція виконується з двох шарів гідроізолу. Гідроізол — це рулонний матеріал, який має високу водонепроникність. Він укладається на поверхню фундаменту і фіксується бітумом.

Вертикальна гідроізоляція виконується для захисту фундаменту від вологи, яка може просочуватися з ґрунту по боковій поверхні фундаменту. Вона

виконується шляхом обмазки бокової поверхні фундаменту і стін, які дотикаються з ґрунтом, гарячим бітумом за два рази.

Гарячий бітум — це вискоєфективний матеріал, який має високу водонепроникність і міцність. Він наноситься на поверхню фундаменту і розтирається.

Така гідроізоляція забезпечить захист фундаменту від вологи, яка може проникати з ґрунту. Це вбереже фундамент від руйнування і забезпечить довговічність будівлі.

Підлоги.

Для будівлі буде запроектовано підлогу з суцільним армованим бетонним покриттям. Бетон буде мати марку М400, що відповідає високій міцності та стійкості до навантажень.

Основа під підлогу буде виконана з щебеню товщиною 100 мм. Щебінь — це міцний і довговічний матеріал, який добре відводить вологу.

Така підлога буде відповідати сучасним вимогам і забезпечить комфортне використання будівлі.

Оздоблення.

Зовнішнє оздоблення проектованого будинку буде виконано в наступному порядку:

- Цокольна частина буде облицьована рельєфними цокольними блоками заводського виготовлення. Цей матеріал має високі міцнісні характеристики і стійкий до атмосферних впливів. Рельєфна поверхня цокольних блоків додасть фасаду будинку оригінальний вигляд.

- Стіни будуть оштукатурені і обшиті гіпсокартонними листами з декоративним покриттям із поліестеру. Гіпсокартон — це легкий і міцний матеріал, який добре піддається обробці. Декоративне покриття з поліестеру додасть стінам будинку гладку і рівну поверхню, а також захистить їх від пошкоджень.

- Вікна, дверні блоки та ворота будуть пофарбовані масляними фарбами або емаліями теплих тонів. Цей вид фарби має високу стійкість до атмосферних

впливів і довговічний. Теплі тони фарби будуть гармонійно вписуватися в загальний вигляд фасаду будинку.

Внутрішнє оздоблення проєктованого будинку також буде виконано в сучасному стилі:

- Стіни та стелі будуть обшиті гіпсокартонними листами з декоративним покриттям із поліестеру. Цей матеріал має високі естетичні характеристики і зручний у обробці.
- Пол буде покритий міцним і довговічним покриттям, таким як ламінат, паркет або плитка.
- Меблі будуть виготовлені з високоякісних матеріалів і матимуть сучасний дизайн.

В побутових санітарних приміщеннях буде використана керамічна глазурована плитка. Цей матеріал має високу вологостійкість і міцність. Він легко миється і не вимагає особливого догляду.

Таке оздоблення буде відповідати сучасним вимогам і забезпечить комфортне проживання в проєктованому будинку.

1.9 Техніко-економічні показники будівлі

Економічні показники будинків, такі як вартість будівництва, витрати на енергозабезпечення та експлуатаційні витрати, залежать від його об'ємно-планувальних і конструктивних рішень. Проєкти будівель характеризуються наступними економічними показниками:

- Вартість будівництва — це загальні витрати на будівництво будинку, включаючи вартість матеріалів, робіт та устаткування.
- Витрати на енергозабезпечення — це витрати на оплату електроенергії, газу та інших видів енергії, які використовуються для опалення, освітлення та інших потреб будинку.

- Експлуатаційні витрати — це витрати на утримання та обслуговування будинку, включаючи оплату праці персоналу, ремонту та заміни обладнання, а також витрати на прибирання та благоустрій території.

Ці показники визначаються такими факторами:

- Об'ємно-планувальні рішення — це розміри та конфігурація будинку, а також кількість і площа його приміщень.
- Конструктивні рішення — це типи матеріалів, які використовуються для будівництва будинку, а також його конструктивна схема.

Наприклад, будинок з великими вікнами і високими стелями буде мати більшу вартість будівництва, ніж будинок з маленькими вікнами і низькими стелями. Будинок, побудований з енергоефективних матеріалів, буде мати нижчі витрати на енергозабезпечення, ніж будинок, побудований з традиційних матеріалів. Будинок, який потребує частого ремонту, буде мати вищі експлуатаційні витрати, ніж будинок, який потребує рідкісного ремонту.

Проектувальники будівель повинні враховувати економічні показники при розробці проектів. Для цього вони використовують спеціальні розрахункові методики.

Таблиця 1.5 - Техніко-економічні показники

Найменування		Показник
Площа забудови	$S_{заб.}, м^2$	42850
Загальний об'єм будівлі	$V_{заг.}, м^3$	189000
Корисна площа будівлі	$S_{кор.}, м^2$	13790
Загальна площа будівлі	$S_{заг.}, м^2$	15120
Об'ємний коефіцієнт	$K = V_{буд.}/S_{кор.}$	13,71

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Алгоритм розрахунку металевих конструкцій за допомогою програмних комплексів

Розрахунок металевих конструкцій є складним завданням, яке вимагає знання основ теорії пружності, теорії деформації і будівельної механіки. Виконання розрахунків вручну вимагає значних витрат часу і зусиль, тому в сучасній практиці все частіше використовуються програмні комплекси для розрахунку металевих конструкцій.

Алгоритм розрахунку металевих конструкцій за допомогою програмних комплексів можна описати наступним чином:

- Введення даних

Першим кроком є введення даних про конструкцію. Це включає в себе такі параметри, як:

- Геометрія конструкції
- Матеріали, з яких виготовлені елементи конструкції
- Навантаження, що діють на конструкцію

Дані можна вводити вручну або за допомогою програмного забезпечення для проектування.

- Формування моделі конструкції

Після введення даних необхідно сформувавши модель конструкції. Цей процес включає в себе створення елементів конструкції, а також визначення їх геометричних характеристик і властивостей матеріалів.

Модель конструкції може бути створена вручну або за допомогою програмного забезпечення для проектування.

- Розрахунок напружень і деформацій

Після формування моделі конструкції можна приступити до розрахунку напружень і деформацій в елементах конструкції. Цей процес включає в себе

застосування методів розрахунку, які відповідають типу конструкції та типу навантаження.

Розрахунок напружень і деформацій може бути виконаний вручну або за допомогою програмного забезпечення для розрахунку.

- Аналіз результатів розрахунків

Після розрахунку напружень і деформацій необхідно проаналізувати результати розрахунків. Це включає в себе перевірку на відповідність вимогам нормативних документів, а також визначення можливих проблем в конструкції.

Аналіз результатів розрахунків може бути виконаний вручну або за допомогою програмного забезпечення для аналізу.

- Виправлення конструкції

Якщо результати розрахунків показують, що конструкція не відповідає вимогам нормативних документів, необхідно внести зміни в конструкцію. Цей процес може включати зміну геометричних характеристик елементів конструкції, а також зміну матеріалів, з яких виготовлені елементи конструкції.

Виправлення конструкції може бути виконано вручну або за допомогою програмного забезпечення для проектування.

- Повторний розрахунок

Після внесення змін в конструкцію необхідно повторно виконати розрахунки напружень і деформацій. Цей процес повторюється до тих пір, поки конструкція не буде відповідати вимогам нормативних документів.

Повторний розрахунок може бути виконаний вручну або за допомогою програмного забезпечення для розрахунку.

Різні етапи алгоритму розрахунку металевих конструкцій можна виконати за допомогою різних програмних комплексів. Деякі з найбільш популярних програмних комплексів для розрахунку металевих конструкцій включають:

- Лира-САПР
- СТАЛЬ-КОНСТРУКЦІЇ
- SCAD
- ANSYS

- Abaqus

Ці програмні продукти дозволяють виконувати розрахунки металевих конструкцій різної складності. Вони оснащені широким набором інструментів для введення даних, формування моделей конструкцій, розрахунку напружень і деформацій, а також аналізу результатів розрахунків.

Ось деякі додаткові поради щодо розрахунку металевих конструкцій за допомогою програмних комплексів:

- Використовуйте програмний комплекс, який відповідає вашим потребам.
- Ознайомтеся з функціоналом програмного комплексу, перш ніж приступати до розрахунків.
- Регулярно перевіряйте результати розрахунків на відповідність вимогам нормативних документів.

Для розрахунку металевих ферм також можна використовувати програмні комплекси, які призначені спеціально для цього типу конструкцій. Деякі з найбільш популярних програмних комплексів для розрахунку металевих ферм включають:

- FarmCAD
- FarmDesign
- S-Frame
- Steel Frame

Ці програмні продукти дозволяють виконувати розрахунки металевих ферм різної складності. Вони оснащені широким набором інструментів для введення даних, формування моделей ферм, розрахунку напружень і деформацій, а також аналізу результатів розрахунків.

Алгоритм розрахунку металевих ферм за допомогою програмних комплексів можна описати наступним чином:

1. Введення даних

Першим кроком є введення даних про ферму. Це включає в себе такі параметри, як:

- Геометрія ферми

- Матеріали, з яких виготовлені елементи ферми
- Навантаження, що діють на ферму

Дані можна вводити вручну або за допомогою програмного забезпечення для проектування.

2. Формування моделі ферми

Після введення даних необхідно сформувавши модель ферми. Цей процес включає в себе створення елементів ферми, а також визначення їх геометричних характеристик і властивостей матеріалів.

Модель ферми може бути створена вручну або за допомогою програмного забезпечення для проектування.

3. Розрахунок напружень і деформацій

Після формування моделі ферми можна приступити до розрахунку напружень і деформацій в елементах ферми. Цей процес включає в себе застосування методів розрахунку, які відповідають типу ферми та типу навантаження.

Розрахунок напружень і деформацій може бути виконаний вручну або за допомогою програмного забезпечення для розрахунку.

4. Аналіз результатів розрахунків

Після розрахунку напружень і деформацій необхідно проаналізувати результати розрахунків. Це включає в себе перевірку на відповідність вимогам нормативних документів, а також визначення можливих проблем у фермі.

Аналіз результатів розрахунків може бути виконаний вручну або за допомогою програмного забезпечення для аналізу.

5. Виправлення ферми

Якщо результати розрахунків показують, що ферма не відповідає вимогам нормативних документів, необхідно внести зміни в ферму. Цей процес може включати зміну геометричних характеристик елементів ферми, а також зміну матеріалів, з яких виготовлені елементи ферми.

Виправлення ферми може бути виконано вручну або за допомогою програмного забезпечення для проектування.

6. Повторний розрахунок

Після внесення змін в ферму необхідно повторно виконати розрахунки напружень і деформацій. Цей процес повторюється до тих пір, поки ферма не буде відповідати вимогам нормативних документів.

Ось деякі додаткові поради щодо розрахунку металевих ферм за допомогою програмних комплексів:

- Використовуйте програмний комплекс, який відповідає вашим потребам.
- Ознайомтеся з функціоналом програмного комплексу, перш ніж приступати до розрахунків.
- Регулярно перевіряйте результати розрахунків на відповідність вимогам нормативних документів.

Крім того, при розрахунку металевих ферм необхідно враховувати такі фактори:

- Тип ферми: Ферми можуть бути плоскими, просторовими або складними.
- Навантаження: На ферми можуть діяти різноманітні навантаження, такі як постійні навантаження, тимчасові навантаження, аварійні навантаження та інші.
- Матеріали: Ферми можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як сталь, алюміній, титан та інші.
- Властивості матеріалів: При розрахунку ферм необхідно враховувати властивості матеріалів, з яких вони виготовлені, такі як модуль пружності, коефіцієнт Пуассона та інші.

При правильному виборі програмного комплексу і врахуванні всіх необхідних факторів, розрахунки металевих ферм за допомогою програмних комплексів дозволяють отримати точні та надійні результати.

2.2. Аналітичний розрахунок з використанням Autodesk Robot Structural Analysis

Таблиця 2.1 – Реакції. Глобальні екстремуми в системі координат: загальній - Навантаження: 1 (тимчасове навантаження)

	FX (кН)	FY (кН)	FZ (кН)	MX (кНм)	MY (кНм)	MZ (кНм)
MAX	104,77	31,10	831,84	69,80	224,85	0,04
Вузол	1	5	7	7	1	1
Навантаження	1	1	1	1	1	1
MIN	-104,77	-31,14	340,07	-69,66	-224,85	-0,04
Вузол	9	7	3	5	9	9
Навантаження	1	1	1	1	1	1

Таблиця 2.2 – Переміщення. Глобальні екстремуми. Навантаження: 1 (тимчасове навантаження)

	UX (см)	UY (см)	UZ (см)	RX (рад)	RY (рад)	RZ (рад)
MAX	0,2	0,1	0,0	0,010	0,012	0,001
Вузол	13	130	1	130	134	10
Навантаження	1	1	1	1	1	1
MIN	-0,2	-0,1	-5,4	-0,010	-0,012	-0,001
Вузол	14	173	158	173	110	2
Навантаження	1	1	1	1	1	1

Таблиця 2.3 - Зусилля – Огинаючі. Навантаження: 1 (тимчасове навантаження)

Стрижень/ Вузол/ Навантаження	FX (кН)	FY (кН)	FZ (кН)	MX (кНм)	MY (кНм)	MZ (кНм)
1	2	3	4	5	6	7
1/ 1/ 1	340,19>>	18,59	-104,77	0,04	224,85	40,21
1/ 1/ 1	340,19<<	18,59	-104,77	0,04	224,85	40,21
1/ 1/ 1	340,19	18,59>>	-104,77	0,04	224,85	40,21
1/ 1/ 1	340,19	18,59<<	-104,77	0,04	224,85	40,21
1/ 1/ 1	340,19	18,59	-104,77>>	0,04	224,85	40,21
1/ 1/ 1	340,19	18,59	-104,77<<	0,04	224,85	40,21
1/ 1/ 1	340,19	18,59	-104,77	0,04>>	224,85	40,21
1/ 1/ 1	340,19	18,59	-104,77	0,04<<	224,85	40,21

Продовження таблиці 2.3

1			2	3	4	5	6	7
1/	1/	1	340,19	18,59	-104,77	0,04	224,85>>	40,21
1/	2/	1	340,19	18,59	-104,77	0,04	-466,62<<	-82,52
1/	1/	1	340,19	18,59	-104,77	0,04	224,85	40,21>>
1/	2/	1	340,19	18,59	-104,77	0,04	-466,62	-82,52<<
2/	3/	1	340,07>>	-18,57	-104,64	-0,04	224,59	-40,22
2/	3/	1	340,07<<	-18,57	-104,64	-0,04	224,59	-40,22
2/	3/	1	340,07	-18,57>>	-104,64	-0,04	224,59	-40,22
2/	3/	1	340,07	-18,57<<	-104,64	-0,04	224,59	-40,22
2/	3/	1	340,07	-18,57	-104,64>>	-0,04	224,59	-40,22
2/	3/	1	340,07	-18,57	-104,64<<	-0,04	224,59	-40,22
2/	3/	1	340,07	-18,57	-104,64	-0,04>>	224,59	-40,22
2/	3/	1	340,07	-18,57	-104,64	-0,04<<	224,59	-40,22
2/	3/	1	340,07	-18,57	-104,64	-0,04	224,59>>	-40,22
2/	4/	1	340,07	-18,57	-104,64	-0,04	-466,00<<	82,37
2/	4/	1	340,07	-18,57	-104,64	-0,04	-466,00	82,37>>
2/	3/	1	340,07	-18,57	-104,64	-0,04	224,59	-40,22<<
3/	5/	1	831,64>>	31,10	0,00	-0,00	-0,00	69,66
3/	5/	1	831,64<<	31,10	0,00	-0,00	-0,00	69,66
3/	5/	1	831,64	31,10>>	0,00	-0,00	-0,00	69,66
3/	5/	1	831,64	31,10<<	0,00	-0,00	-0,00	69,66
3/	5/	1	831,64	31,10	0,00>>	-0,00	-0,00	69,66
3/	5/	1	831,64	31,10	0,00<<	-0,00	-0,00	69,66
3/	5/	1	831,64	31,10	0,00	-0,00>>	-0,00	69,66
3/	5/	1	831,64	31,10	0,00	-0,00<<	-0,00	69,66
3/	6/	1	831,64	31,10	0,00	-0,00	0,00>>	-135,61
3/	5/	1	831,64	31,10	0,00	-0,00	-0,00<<	69,66
3/	5/	1	831,64	31,10	0,00	-0,00	-0,00	69,66>>
3/	6/	1	831,64	31,10	0,00	-0,00	0,00	-135,61<<
4/	7/	1	831,84>>	-31,14	-0,00	-0,00	0,00	-69,80
4/	7/	1	831,84<<	-31,14	-0,00	-0,00	0,00	-69,80
4/	7/	1	831,84	-31,14>>	-0,00	-0,00	0,00	-69,80
4/	7/	1	831,84	-31,14<<	-0,00	-0,00	0,00	-69,80
4/	7/	1	831,84	-31,14	-0,00>>	-0,00	0,00	-69,80
4/	7/	1	831,84	-31,14	-0,00<<	-0,00	0,00	-69,80
4/	7/	1	831,84	-31,14	-0,00	-0,00>>	0,00	-69,80
4/	7/	1	831,84	-31,14	-0,00	-0,00<<	0,00	-69,80
4/	7/	1	831,84	-31,14	-0,00	-0,00	0,00>>	-69,80
4/	8/	1	831,84	-31,14	-0,00	-0,00	-0,00<<	135,74
4/	8/	1	831,84	-31,14	-0,00	-0,00	-0,00	135,74>>
4/	7/	1	831,84	-31,14	-0,00	-0,00	0,00	-69,80<<
5/	9/	1	340,19>>	18,59	104,77	-0,04	-224,85	40,21
5/	9/	1	340,19<<	18,59	104,77	-0,04	-224,85	40,21
5/	9/	1	340,19	18,59>>	104,77	-0,04	-224,85	40,21
5/	9/	1	340,19	18,59<<	104,77	-0,04	-224,85	40,21
5/	9/	1	340,19	18,59	104,77>>	-0,04	-224,85	40,21
5/	9/	1	340,19	18,59	104,77<<	-0,04	-224,85	40,21
5/	9/	1	340,19	18,59	104,77	-0,04>>	-224,85	40,21
5/	9/	1	340,19	18,59	104,77	-0,04<<	-224,85	40,21

Продовження таблиці 2.3

1			2	3	4	5	6	7
5/	10/	1	340,19	18,59	104,77	-0,04	466,62>>	-82,52
5/	9/	1	340,19	18,59	104,77	-0,04	-224,85<<	40,21
5/	9/	1	340,19	18,59	104,77	-0,04	-224,85	40,21>>
5/	10/	1	340,19	18,59	104,77	-0,04	466,62	-82,52<<
6/	11/	1	340,07>>	-18,57	104,64	0,04	-224,59	-40,22
6/	11/	1	340,07<<	-18,57	104,64	0,04	-224,59	-40,22
6/	11/	1	340,07	-18,57>>	104,64	0,04	-224,59	-40,22
6/	11/	1	340,07	-18,57<<	104,64	0,04	-224,59	-40,22
6/	11/	1	340,07	-18,57	104,64>>	0,04	-224,59	-40,22
6/	11/	1	340,07	-18,57	104,64<<	0,04	-224,59	-40,22
6/	11/	1	340,07	-18,57	104,64	0,04>>	-224,59	-40,22
6/	11/	1	340,07	-18,57	104,64	0,04<<	-224,59	-40,22
6/	12/	1	340,07	-18,57	104,64	0,04	466,00>>	82,37
6/	11/	1	340,07	-18,57	104,64	0,04	-224,59<<	-40,22
6/	12/	1	340,07	-18,57	104,64	0,04	466,00	82,37>>
6/	11/	1	340,07	-18,57	104,64	0,04	-224,59	-40,22<<
10/	12/	1	7,71>>	-6,24	75,21	-0,24	-59,59	-7,67
10/	10/	1	-12,70<<	6,61	-75,26	0,16	-62,27	-8,86
10/	10/	1	-12,70	6,61>>	-75,26	0,16	-62,27	-8,86
10/	12/	1	7,71	-6,24<<	75,21	-0,24	-59,59	-7,67
10/	12/	1	7,71	-6,24	75,21>>	-0,24	-59,59	-7,67
10/	10/	1	-12,70	6,61	-75,26<<	0,16	-62,27	-8,86
10/	10/	1	-12,70	6,61	-75,26	0,16>>	-62,27	-8,86
10/	12/	1	7,71	-6,24	75,21	-0,24<<	-59,59	-7,67
10/	12/	1	7,71	-6,24	75,21	-0,24	-59,59>>	-7,67
10/	10/	1	-12,70	6,61	-75,26	0,16	-62,27<<	-8,86
10/	12/	1	7,71	-6,24	75,21	-0,24	-59,59	-7,67>>
10/	10/	1	-12,70	6,61	-75,26	0,16	-62,27	-8,86<<
12/	6/	1	184,98>>	-0,00	263,03	-0,00	-179,18	-0,00
12/	8/	1	184,92<<	-0,00	-263,09	-0,00	-179,31	0,00
12/	8/	1	184,92	-0,00>>	-263,09	-0,00	-179,31	0,00
12/	6/	1	184,98	-0,00<<	263,03	-0,00	-179,18	-0,00
12/	6/	1	184,98	-0,00	263,03>>	-0,00	-179,18	-0,00
12/	8/	1	184,92	-0,00	-263,09<<	-0,00	-179,31	0,00
12/	8/	1	184,92	-0,00	-263,09	-0,00>>	-179,31	0,00
12/	6/	1	184,98	-0,00	263,03	-0,00<<	-179,18	-0,00
12/	6/	1	184,98	-0,00	263,03	-0,00	-179,18>>	-0,00
12/	8/	1	184,92	-0,00	-263,09	-0,00	-179,31<<	0,00
12/	8/	1	184,92	-0,00	-263,09	-0,00	-179,31	0,00>>
12/	6/	1	184,98	-0,00	263,03	-0,00	-179,18	-0,00<<
20/	23/	1	58,52>>	-1,07	-40,49	-0,10	4,91	1,04
20/	22/	1	58,27<<	1,08	40,48	0,10	4,95	1,05
20/	22/	1	58,27	1,08>>	40,48	0,10	4,95	1,05
20/	23/	1	58,52	-1,07<<	-40,49	-0,10	4,91	1,04
20/	22/	1	58,27	1,08	40,48>>	0,10	4,95	1,05
20/	23/	1	58,52	-1,07	-40,49<<	-0,10	4,91	1,04
20/	22/	1	58,27	1,08	40,48	0,10>>	4,95	1,05
20/	23/	1	58,52	-1,07	-40,49	-0,10<<	4,91	1,04

Продовження таблиці 2.3

1			2	3	4	5	6	7
20/	22/	1	58,27	1,08	40,48	0,10	4,95>>	1,05
20/	23/	1	58,52	-1,07	-40,49	-0,10	4,91<<	1,04
20/	22/	1	58,27	1,08	40,48	0,10	4,95	1,05>>
20/	23/	1	58,52	-1,07	-40,49	-0,10	4,91	1,04<<
21/	25/	1	58,52>>	1,07	-40,49	0,10	4,91	-1,04
21/	24/	1	58,27<<	-1,08	40,48	-0,10	4,95	-1,05
21/	25/	1	58,52	1,07>>	-40,49	0,10	4,91	-1,04
21/	24/	1	58,27	-1,08<<	40,48	-0,10	4,95	-1,05
21/	24/	1	58,27	-1,08	40,48>>	-0,10	4,95	-1,05
21/	25/	1	58,52	1,07	-40,49<<	0,10	4,91	-1,04
21/	25/	1	58,52	1,07	-40,49	0,10>>	4,91	-1,04
21/	24/	1	58,27	-1,08	40,48	-0,10<<	4,95	-1,05
21/	24/	1	58,27	-1,08	40,48	-0,10	4,95>>	-1,05
21/	25/	1	58,52	1,07	-40,49	0,10	4,91<<	-1,04
21/	25/	1	58,52	1,07	-40,49	0,10	4,91	-1,04>>
21/	24/	1	58,27	-1,08	40,48	-0,10	4,95	-1,05<<
27/	27/	1	86,87>>	-7,40	-76,66	-0,13	-39,52	5,85
27/	26/	1	86,83<<	7,20	76,66	0,13	-39,60	5,79
27/	26/	1	86,83	7,20>>	76,66	0,13	-39,60	5,79
27/	27/	1	86,87	-7,40<<	-76,66	-0,13	-39,52	5,85
27/	26/	1	86,83	7,20	76,66>>	0,13	-39,60	5,79
27/	27/	1	86,87	-7,40	-76,66<<	-0,13	-39,52	5,85
27/	26/	1	86,83	7,20	76,66	0,13>>	-39,60	5,79
27/	27/	1	86,87	-7,40	-76,66	-0,13<<	-39,52	5,85
27/	27/	1	86,87	-7,40	-76,66	-0,13	-39,52>>	5,85
27/	26/	1	86,83	7,20	76,66	0,13	-39,60<<	5,79
27/	27/	1	86,87	-7,40	-76,66	-0,13	-39,52	5,85>>
27/	26/	1	86,83	7,20	76,66	0,13	-39,60	5,79<<
28/	29/	1	93,95>>	6,64	-54,09	0,26	-8,89	-4,12
28/	28/	1	93,94<<	-6,65	54,09	-0,26	-8,90	-4,12
28/	29/	1	93,95	6,64>>	-54,09	0,26	-8,89	-4,12
28/	28/	1	93,94	-6,65<<	54,09	-0,26	-8,90	-4,12
28/	28/	1	93,94	-6,65	54,09>>	-0,26	-8,90	-4,12
28/	29/	1	93,95	6,64	-54,09<<	0,26	-8,89	-4,12
28/	29/	1	93,95	6,64	-54,09	0,26>>	-8,89	-4,12
28/	28/	1	93,94	-6,65	54,09	-0,26<<	-8,90	-4,12
28/	29/	1	93,95	6,64	-54,09	0,26	-8,89>>	-4,12
28/	28/	1	93,94	-6,65	54,09	-0,26	-8,90<<	-4,12
28/	29/	1	93,95	6,64	-54,09	0,26	-8,89	-4,12>>
28/	28/	1	93,94	-6,65	54,09	-0,26	-8,90	-4,12<<
29/	31/	1	93,95>>	-6,64	-54,09	-0,26	-8,89	4,12
29/	30/	1	93,94<<	6,65	54,09	0,26	-8,90	4,12
29/	30/	1	93,94	6,65>>	54,09	0,26	-8,90	4,12
29/	31/	1	93,95	-6,64<<	-54,09	-0,26	-8,89	4,12
29/	30/	1	93,94	6,65	54,09>>	0,26	-8,90	4,12
29/	31/	1	93,95	-6,64	-54,09<<	-0,26	-8,89	4,12
29/	30/	1	93,94	6,65	54,09	0,26>>	-8,90	4,12
29/	31/	1	93,95	-6,64	-54,09	-0,26<<	-8,89	4,12

Продовження таблиці 2.3

1			2	3	4	5	6	7
29/	31/	1	93,95	-6,64	-54,09	-0,26	-8,89>>	4,12
29/	30/	1	93,94	6,65	54,09	0,26	-8,90<<	4,12
29/	30/	1	93,94	6,65	54,09	0,26	-8,90	4,12>>
29/	31/	1	93,95	-6,64	-54,09	-0,26	-8,89	4,12<<
30/	33/	1	86,87>>	7,40	-76,66	0,13	-39,52	-5,85
30/	32/	1	86,83<<	-7,20	76,66	-0,13	-39,60	-5,79
30/	33/	1	86,87	7,40>>	-76,66	0,13	-39,52	-5,85
30/	32/	1	86,83	-7,20<<	76,66	-0,13	-39,60	-5,79
30/	32/	1	86,83	-7,20	76,66>>	-0,13	-39,60	-5,79
30/	33/	1	86,87	7,40	-76,66<<	0,13	-39,52	-5,85
30/	33/	1	86,87	7,40	-76,66	0,13>>	-39,52	-5,85
30/	32/	1	86,83	-7,20	76,66	-0,13<<	-39,60	-5,79
30/	33/	1	86,87	7,40	-76,66	0,13	-39,52>>	-5,85
30/	32/	1	86,83	-7,20	76,66	-0,13	-39,60<<	-5,79
30/	32/	1	86,83	-7,20	76,66	-0,13	-39,60	-5,79>>
30/	33/	1	86,87	7,40	-76,66	0,13	-39,52	-5,85<<
32/	2/	1	138,31>>	25,85	264,94	18,15	-446,30	4,44
32/	10/	1	138,31<<	-25,85	-264,94	-18,15	-446,30	4,44
32/	2/	1	138,31	25,85>>	264,94	18,15	-446,30	4,44
32/	10/	1	138,31	-25,85<<	-264,94	-18,15	-446,30	4,44
32/	2/	1	138,31	25,85	264,94>>	18,15	-446,30	4,44
32/	10/	1	138,31	-25,85	-264,94<<	-18,15	-446,30	4,44
32/	2/	1	138,31	25,85	264,94	18,15>>	-446,30	4,44
32/	10/	1	138,31	-25,85	-264,94	-	-446,30	4,44
						18,15<<		
32/	2/	1	138,31	25,85	264,94	18,15	-446,30>>	4,44
32/	10/	1	138,31	-25,85	-264,94	-18,15	-446,30<<	4,44
32/	2/	1	138,31	25,85	264,94	18,15	-446,30	4,44>>
32/	10/	1	138,31	-25,85	-264,94	-18,15	-446,30	4,44<<
33/	4/	1	125,68>>	-22,41	264,85	-18,72	-447,41	-6,44
33/	12/	1	125,68<<	22,41	-264,85	18,72	-447,41	-6,44
33/	12/	1	125,68	22,41>>	-264,85	18,72	-447,41	-6,44
33/	4/	1	125,68	-22,41<<	264,85	-18,72	-447,41	-6,44
33/	4/	1	125,68	-22,41	264,85>>	-18,72	-447,41	-6,44
33/	12/	1	125,68	22,41	-264,85<<	18,72	-447,41	-6,44
33/	12/	1	125,68	22,41	-264,85	18,72>>	-447,41	-6,44
33/	4/	1	125,68	-22,41	264,85	-	-447,41	-6,44
						18,72<<		
33/	12/	1	125,68	22,41	-264,85	18,72	-447,41>>	-6,44
33/	4/	1	125,68	-22,41	264,85	-18,72	-447,41<<	-6,44
33/	12/	1	125,68	22,41	-264,85	18,72	-447,41	-6,44>>
33/	4/	1	125,68	-22,41	264,85	-18,72	-447,41	-6,44<<
34/	14/	1	-24,19>>	1,15	-150,47	-0,26	-5,34	2,28
34/	13/	1	-24,19<<	-1,15	150,47	0,26	-5,34	2,28
34/	14/	1	-24,19	1,15>>	-150,47	-0,26	-5,34	2,28
34/	13/	1	-24,19	-1,15<<	150,47	0,26	-5,34	2,28
34/	13/	1	-24,19	-1,15	150,47>>	0,26	-5,34	2,28
34/	14/	1	-24,19	1,15	-150,47<<	-0,26	-5,34	2,28

Продовження таблиці 2.3

1			2	3	4	5	6	7
34/	13/	1	-24,19	-1,15	150,47	0,26>>	-5,34	2,28
34/	14/	1	-24,19	1,15	-150,47	-0,26<<	-5,34	2,28
34/	13/	1	-24,19	-1,15	150,47	0,26	-5,34>>	2,28
34/	14/	1	-24,19	1,15	-150,47	-0,26	-5,34<<	2,28
34/	14/	1	-24,19	1,15	-150,47	-0,26	-5,34	2,28>>
34/	13/	1	-24,19	-1,15	150,47	0,26	-5,34	2,28<<
35/	4/	1	7,71>>	6,24	75,21	0,24	-59,59	7,67
35/	2/	1	-12,70<<	-6,61	-75,26	-0,16	-62,27	8,86
35/	4/	1	7,71	6,24>>	75,21	0,24	-59,59	7,67
35/	2/	1	-12,70	-6,61<<	-75,26	-0,16	-62,27	8,86
35/	4/	1	7,71	6,24	75,21>>	0,24	-59,59	7,67
35/	2/	1	-12,70	-6,61	-75,26<<	-0,16	-62,27	8,86
35/	4/	1	7,71	6,24	75,21	0,24>>	-59,59	7,67
35/	2/	1	-12,70	-6,61	-75,26	-0,16<<	-62,27	8,86
35/	4/	1	7,71	6,24	75,21	0,24	-59,59>>	7,67
35/	2/	1	-12,70	-6,61	-75,26	-0,16	-62,27<<	8,86
35/	2/	1	-12,70	-6,61	-75,26	-0,16	-62,27	8,86>>
35/	4/	1	7,71	6,24	75,21	0,24	-59,59	7,67<<

2.3. Стадія конструювання

Розрахунок та конструювання металевих конструкцій було проведено в програмному пакеті Autodesk Robot Structural Analysis Pro.

Було проведено статичний розрахунок елементів ферми, підбір профілів елементів, перевірка на стійкість, перевірка на прогин. Також було розраховано та законструйовано вузли ферми.

Було проведено розрахунок колон, підбір перетинів, перевірка на стійкість та деформації. Також було розраховано вузли колони.

Детальніше з результатами можна ознайомитися в ДОДАТКУ А.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ

3.1. Вступ

Щоб зрозуміти поведінку сендвіч-панелей під час пожежі, можна провести дорогі натурні випробування або потенційно більш ефективне моделювання пожежної конструкції. Однак, було продемонстровано, що таке моделювання працює лише для конкретних застосувань, або в глобальному масштабі (пожежа на простій панелі), або в малому масштабі (температурне навантаження на одне гвинтове з'єднання), часто навантажене стандартною пожежною кривою. У цій роботі досліджується якість моделювання комбінованих ситуацій, тобто пожежі печі на наборі панелей, включаючи деталі та з'єднання. Спочатку представлено два існуючі випробування - випробування сендвіч-панелей на вогнестійкість та випробування шпилькових болтів, після чого представлено їхні базові моделювання пожежної конструкції. Загалом, результати аналізу теплопередачі добре узгоджуються з результатами випробувань, тоді як аналіз структурної реакції потребує дослідження: Для першого випробування прогини поза площиною завищені на початку випробування. Дослідження параметрів показує, що це, швидше за все, пов'язано з розкладанням клею, що призводить до розшарування лицьової поверхні і пов'язаної з цим нестабільності. Для другого випробування базове моделювання не виявило жодних збоїв, тоді як випробування на вертикальну опору зазнало невдачі. Однак за допомогою двомасштабної моделі можна оцінити граничне навантаження і передбачити збільшення вертикальних переміщень і початок вертикального навантаження. Зроблено висновок, що майбутні випробування повинні включати більше релевантних для моделювання вимірювань. Крім того, глобальні моделі повинні включати особливості, характерні для структури, що моделюється, які стають відомими лише після випробувань і базового моделювання, а зв'язки можуть бути вирішальними для поведінки в глобальному масштабі, що може бути враховано в двомасштабній моделі. Нарешті,

випробування продемонстрували складну поведінку в різних масштабах, а модифікації та вдосконалення моделювання підвищили його точність. Тому моделювання пожежних конструкцій завжди слід перевіряти випробуваннями і порівнювати з базовим моделюванням, а також передбачати модифікації в імітаційних моделях.

Сендвіч-панелі часто використовуються для будівництва, оскільки вони легкі та міцні, а також дозволяють швидко (а отже, ефективно) зводити будівлі. Необхідно знати їхню вогнестійкість, щоб гарантувати, що вогонь не зможе легко поширитися між приміщеннями або будівлями. Крім того, пошкодження панелей впливають на саму пожежу через зміну подачі кисню - явище, яке все більше привертає увагу. Існують стандарти для перевірки вогнестійкості панелей. Наприклад, ISO 13784-1:2014 визначає випробування, необхідні для оцінки вогнестійкості сендвіч-панелей. А європейські стандарти EN 13501-1:2019 та EN 13823:2020 використовуються для визначення вогнестійкості будівельних компонентів. Однак ці стандарти проектування не охоплюють усіх важливих аспектів: Для сендвіч-панелей було проведено проміжне масштабне випробування на основі EN 13823, і дані показали неприйнятно низький рівень повторюваності. Також було проведено два типи вогневих випробувань сендвіч-панелей: стандартне випробування за стандартом ISO 13784-1 та модифіковане випробування. Результати показали, що незначні модифікації стандартного випробування можуть призвести до суттєво відмінних результатів. Таким чином, можна поставити під сумнів, чи є стандартні випробування достатньо хорошими для безпечної оцінки всіх сценаріїв проектування. Частково цю проблему можна вирішити шляхом застосування нестандартних тестів, однак вони є дорогими, особливо в повномасштабному виконанні. Крім того, для кожної варіації параметрів потрібен окремий тест. Тому все частіше використовуються симуляції, оскільки вони економічні і дозволяють досліджувати широкий спектр параметрів. Вони також можуть надати інформацію, недоступну під час випробувань (наприклад, пов'язану з внутрішніми напруженнями і деформаціями).

Окрім загальної конструкції сендвіч-панелей, що складається з панелей і рами, деталі сендвіч-панелей можуть впливати на поведінку конструкції під час обстрілу. Особливо це стосується з'єднань, поведінка яких може призвести навіть до прогресуючого руйнування. Інші дослідники, тестували опір зсуву гвинтових з'єднань сендвіч-панелей при підвищених температурах. Випробовувалися саморізи, які не витримали навантаження на торці сендвіч-панелей. У цій роботі досліджувалися експерименти на однократний зсув гвинтових з'єднань при температурі навколишнього середовища та підвищеній температурі. Режими руйнування відрізнялися залежно від температури та типу гвинта.

Як згадувалося вище, моделювання може допомогти краще зрозуміти теплову і структурну поведінку панелей. Не будучи вичерпним, комерційне програмне забезпечення, яке часто зустрічається в дослідженнях, що часто використовується для нелінійних задач в галузі прикладної механіки. Крім того, OpenSees виявився корисним для моделювання конструкцій під час пожежі, а Comsol визнаний для роботи з мультидискретними моделями. Типове моделювання пожежі в поєднанні з конструкцією спочатку починається з аналізу теплопередачі (ТП), який прогнозує розподіл температури в конструкції в часі. Відповідні теплові граничні умови отримують за допомогою стандартної кривої пожежі або моделювання динаміки пожежі. В останньому випадку для перенесення температур з моделювання пожежі в аналіз тепловіддачі можна використовувати концепцію адіабатичної поверхневої температури (АПТ). Згодом розподіл температури в часі переноситься в аналіз структурної реакції (СР) для прогнозування механічної поведінки. Дотримуючись цих процедур і використовуючи динаміку пожежі проводиться так зване моделювання пожежної конструкції з одностороннім зв'язком (One-Way Coupled (OWC)). Крім того, на розвиток пожежі може впливати поведінка конструкції (наприклад, пошкодження панелі, що призводить до відкриття отвору). Структурна поведінка може бути пов'язана з моделюванням динаміки пожежі, яке визначається як моделювання з двостороннім зв'язком (TWC), продемонстроване для сендвіч-панелей з одного боку відсіку. Як в OWC, так і в TWC моделюванні (гвинтові та болтові) з'єднання часто спрощуються як (нелінійні) пружинні елементи або

жорсткі з'єднання, оскільки моделювання глобальної структурної системи, що включає дрібномасштабні з'єднання, вимагає значних обчислювальних затрат.

Спрощення за рахунок використання пружинних елементів означає, що певні нелінійності, температурні залежності, залежність шляху у випадку пластичності та різні інші явища не враховуються, що, в свою чергу, може призвести до нереалістичного моделювання системи і неправильного прогнозування відмов. Наприклад, поведінка і режими руйнування гвинтових з'єднань можуть змінюватися при підвищенні температури, наприклад, від навантаження до зсуву. Подібні висновки стосуються і систем сендвіч-панелей. Для вирішення цих проблем можна використовувати "субмоделювання", яке спочатку було розроблено для моделювання області скінченно-елементної моделі за допомогою уточненої сітки для детального аналізу. Однак субмоделювання є односпрямованим методом, тобто поведінка (дрібномасштабної) уточненої моделі не може бути повернута до (глобальної) вихідної моделі. У контексті цієї статті, нещодавно було розроблено двомасштабну модель, яка дозволяє двосторонню передачу інформації між дрібномасштабною та глобальною моделями. Додаток, що схематично ілюструє двомасштабну модель, показано на рисунку 3.1. На рисунку (а) зображено глобальну конструкцію як набір сендвіч-панелей, які з'єднані з несучим горизонтальним L-подібним перерізом гвинтами, тобто дрібномасштабними компонентами, як показано на рисунку 1б. Як згадувалося раніше, такі гвинтові з'єднання можуть бути спрощені як пружинні елементи в скінченно-елементній моделі, див. рис. 3.1в. З іншого боку, двомасштабна модель складається з (i) глобальної моделі, з пружинним елементом для кожного з'єднання, Рисунок 3.1с, яка враховує загальну поведінку конструкції. По-друге, вона має (ii) для кожного з'єднання дрібномасштабну модель, яка враховує локальну і детальну поведінку гвинтового з'єднання (рис. 3.1d). Таке визначення двомасштабної моделі використовується в цій роботі. Моделювання поділено на декілька кроків навантаження. На кожному кроці навантаження спочатку використовується глобальна модель, а потім надаються температурні та механічні граничні умови для дрібномасштабної моделі, яка в подальшому використовується для прогнозування

жорсткості з'єднання в кожному напрямку для використання для пружинного елемента. У двомасштабній моделі для забезпечення граничних умов для дрібномасштабних моделей використовується специфічне субмоделювання Abaqus, але подібна функціональність доступна в більшості інших програм скінченно-елементного аналізу.

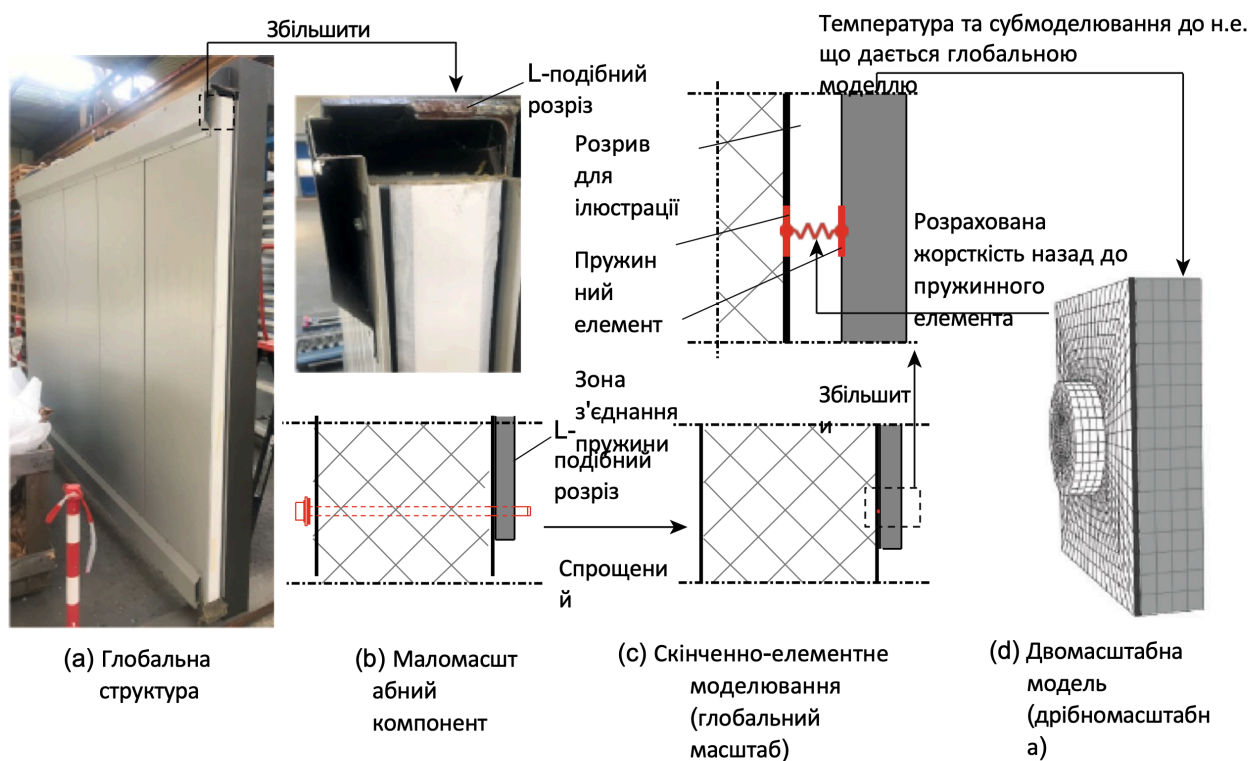


Рисунок 3.1 - Система сендвіч-панелей, тестові та імітаційні моделі в різних масштабах

Було продемонстровано, що моделювання працює для конкретних застосувань, як у глобальному масштабі (пожежа на простій панелі), так і в малому масштабі (температурне навантаження на одне гвинтове з'єднання), яке часто навантажується стандартною кривою пожежі. У цій статті досліджується якість моделювання комбінованих ситуацій, тобто пожежі на наборі панелей з деталями та з'єднаннями.

3.2 Випробування на вогнестійкість, скінченно-елементної моделі, двомасштабної моделі

3.2.1 Випробування на вогнестійкість

Тут представлені два випробування вогнестійкості сендвіч-панелей, проведені в минулому. Вони були обрані на основі (а) наявності звітів про випробування та залучення лабораторного і дослідницького персоналу для обговорення; (б) наявності деталей обстановки і обладнання для випробувань, а також даних вимірювань як теплових, так і механічних аспектів; (в) їхньої актуальності для сендвіч-панелей і з'єднань; (г) їхньої застосовності для імітаційних моделей, зокрема двомасштабної моделі; (д) їхньої різноманітності та зростаючої складності режимів руйнування, в даному випадку деформації (тільки) панелей (у випробуванні 1) і розривів з'єднань (у випробуванні 2). В обох випробуваннях використовувався один і той самий тип сендвіч-панелей: Панель складається зі сталеві обшивки товщиною 0,6 мм навколо 100-міліметрової серцевини з мінеральної вати. Огляд випробувань показано на рисунку 3.2.

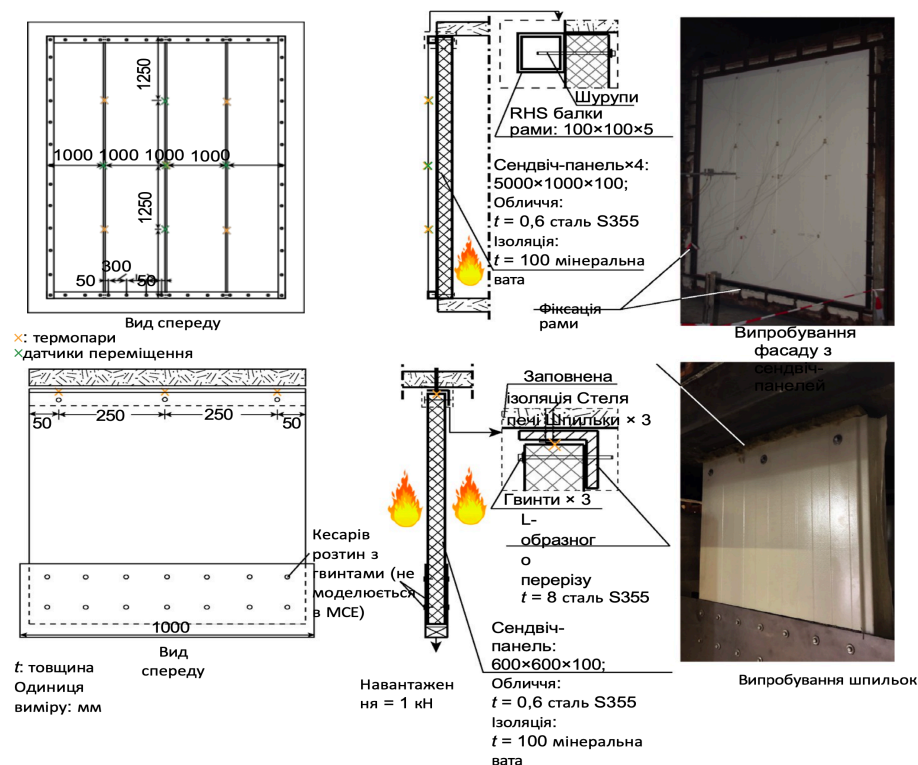


Рисунок 3.2 - Верхній ряд: випробування 1, випробування фасаду з сендвіч-панелей, нижній ряд: випробування 2, випробування шпильок

Випробування 1 - це повномасштабне випробування сендвіч-панелей на міцність, показане у верхньому ряду на рис. 3.2. Було використано чотири сендвіч-панелі, кожна з яких мала розміри 5000*1000*100 мм. Ці панелі були прикріплені до рами з прямокутними порожнистими перетинами (RHS) 16 гвинтами до кожної горизонтальної секції і 11 гвинтами до кожної вертикальної секції, див. рис. 2. Були використані саморізи типу "JT3-D-6 H-5.5/6.3*147" з основним діаметром 6,3 мм і довжиною 147 мм. Товщина полотен і фланців RHS становила 5 мм. Повна рама з чотирма панелями була розміщена в отворі печі. Внутрішня сторона сендвіч-панелей піддавалася впливу тепла печі відповідно до стандартної кривої пожежі ISO- 834, а температури і переміщення на зовнішній стороні (без впливу вогню) вимірювалися термопарами і датчиками переміщення, показаними помаранчевими і зеленими хрестиками на рисунку 2. Під час та після 90 хвилин випробування не було виявлено жодного пошкодження.

Випробування 2 показано в нижньому ряду на рисунку 3.2. У цьому випробуванні використовувалася одна сендвіч-панель розміром 600*600*100 мм. Для її позиціонування до стелі печі був прикріплений сталевий L-образний профіль трьома шпильками M10, а сендвіч-панель була закріплена на L-образному профілі трьома саморізами типу "JZ3-6.3*115-E16" з основним діаметром 6,3 мм. Товщина полотна і фланця L-образного перерізу становила 8 мм. В нижній частині сендвіч-панелі численними гвинтами був закріплений сталевий С-подібний профіль, на який були прикріплені сталеві вантажі, щоб забезпечити спрямоване вниз навантаження в 1 кН. Сендвіч-панель нагрівали в печі відповідно до кривої пожежі ISO-834. Три термопари були вбудовані всередину шару ізоляції зверху (помаранчеві хрестики на рисунку 3.2), а датчики переміщення не використовувалися. Випробування 2 мало на меті перевірити стійкість анкерних болтів, однак, як зазначено у звіті, воно не відбулося через 50 хвилин з інших причин. А саме, в цей момент впали навантажувальні вантажі (вони були нещільно укладені в С-образному перерізі), що спричинило руйнування панелі. На фотографіях у звіті видно, що панель після випробування повністю відокремлена

від L-секції, а на іншій фотографії, яка не є частиною звіту, але показана як вставка на рис. 3.7, видно сильне вертикальне навантаження (навіть розрив у напрямку до торцевого краю) отворів для шурупів у торці панелі.

3.2.2 Скінченно-елементні моделі

Для моделювання пожежної конструкції в цій роботі використовуються скінченно-елементні моделі, розроблені в комерційній програмі скінченних елементів Abaqus. Для аналізу НТ застосовується стандартна крива пожежі ISO-834 як температура на поверхнях сендвіч-панелей, що піддаються впливу вогню. Для перевірки цього стандартного підходу з використанням кривої пожежі, в Розділі 3.4 також тестується моделювання печі за допомогою комп'ютерної гідродинаміки (CFD) з використанням програми Fire Dynamics Simulator (FDS). Подальші подробиці будуть наведені там же.

Налаштування скінченно-елементних моделей відповідає налаштуванню випробувань у розділі 3.2.1, де менш важливі компоненти (наприклад, кріплення печі та рами навколо рами RHS у випробуванні 1; сталеві вантажі, С-образний переріз та ізоляція між L-образним перерізом та сендвіч-панеллю у випробуванні 2) не моделюються (С-образний переріз та вантажі моделюються як навантаження, це буде показано пізніше). Лицьові сторони сендвіч-панелей і секції (рами) моделюються елементами оболонки, а ізоляційне ядро сендвіч-панелей - об'ємними елементами, як показано в Таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Скінченно-елементні моделі: частини, елементи, матеріали та алгоритм розв'язання

	Аналіз ТП		Аналіз СР	
	ТЕСТ 1	ТЕСТ 2	ТЕСТ 1	ТЕСТ 2
Частини	Сендвіч-панель * 4; Каркасна балка * 4	Сендвіч-панель * 1; двотавр * 1	Сендвіч-панель * 4; Каркасна балка * 4; Пружинний елемент * 54	Сендвіч-панель * 1; Г-подібний профіль * 1; Пружинний елемент * 3

Продовження таблиці 3.1

Елементи	Лицьові панелі DS4 (100*100); Ізоляція DC3D8 (100 * 100 * 25); Балки каркасу DS4 (50 * 50)	Лицьові панелі DS4 (12,5 * 12,5); Ізоляція DC3D8 (12,5 * 12,5 * 10); Г-подібний переріз DS4 (12.5 * 12.5)	Лицьові панелі S4 (100 * 100); Ізоляція C3D8 (100 * 100 * 25); Балки каркасу S4(50 * 50); Пружинні елементи CONN3D2	Лицьові панелі S4 (12,5 * 12,5); Ізоляція C3D8 (12.5 * 12.5 * 10); двотавр S4 (12,5 * 12,5); Пружинні елементи CONN3D2
Матеріали	Облицювання панелей: сталь; Ізоляція: мінеральна вата; Балки рами: сталь	Облицювання панелей: сталь; Ізоляція: мінеральна вата; Л-подібний переріз: сталь	Облицювання панелей: сталь; Ізоляція: мінеральна вата; Балки рами: сталь	Облицювання панелей: сталь; Ізоляція: мінеральна вата; Л-подібний переріз: сталь
Алгоритм розв'язання	Перехідний теплообмін	Перехідний теплообмін	Статичний	Статичний

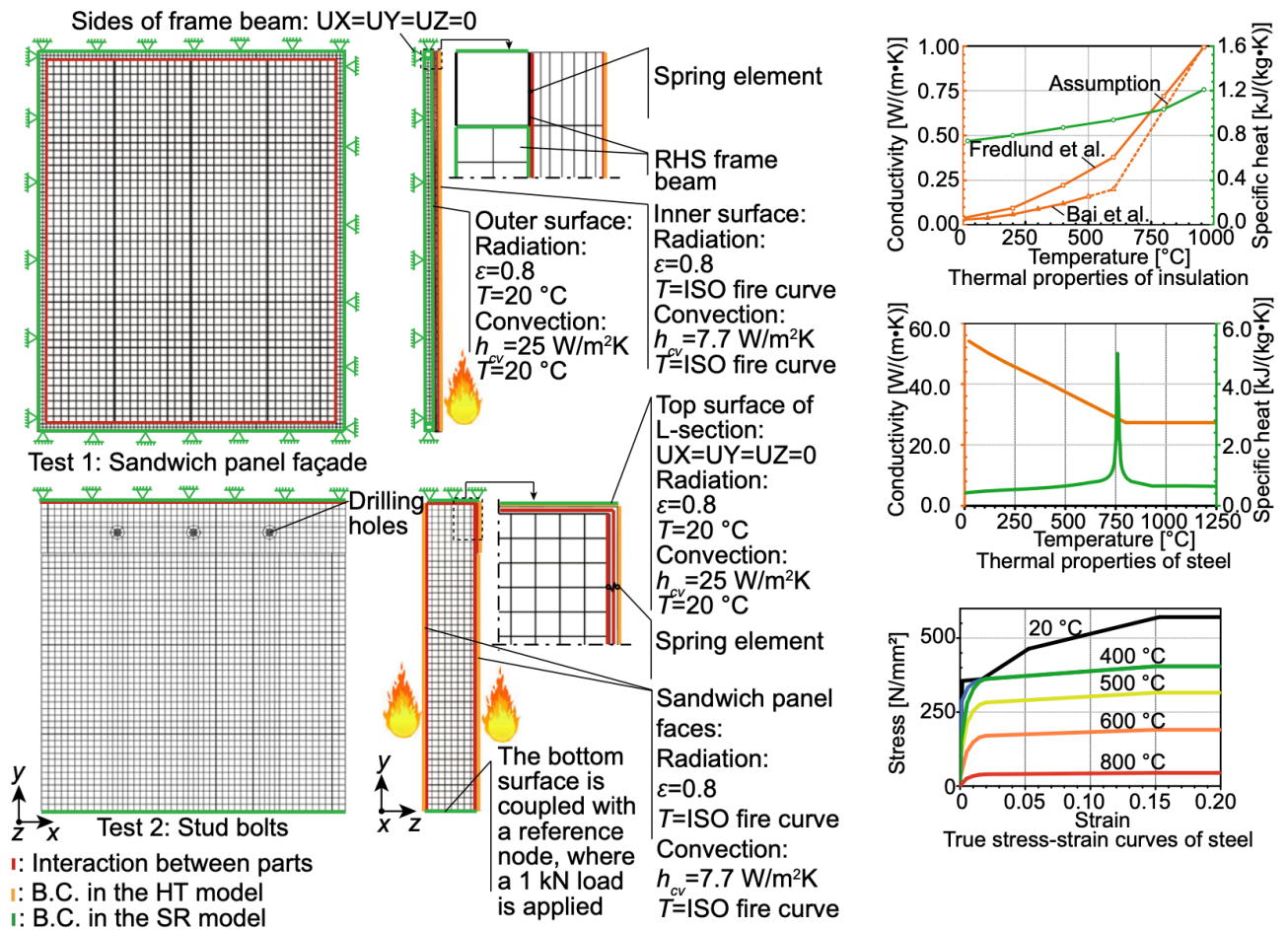


Рисунок 3.3 - Скінченно-елементні моделі (ліворуч, посередині) та властивості матеріалу (праворуч)

На рисунку 3.3 (ліворуч і посередині) показані скінченно-елементні моделі, де помаранчевими лініями позначені місця, де в моделі НТ діють граничні умови для накладання кривої пожежі ISO 834, а зеленими лініями позначені місця, де в моделі SR розташовані граничні умови (обмеження або навантаження). Зверніть увагу, що для випробування 2 L-подібний переріз прикріплений до стелі печі, а не до самої панелі. Провідність і механічний контакт між частинами враховуються за допомогою фірмових "властивостей взаємодії" Abaqus, позначених жирними червоними лініями на Рисунку 3.3. Властивості матеріалів наведені праворуч від рисунка. Залежні від температури термічні та механічні властивості сталі взяті з нормативних документів, де інженерні співвідношення напруження-деформація ($\epsilon_{eng}; \epsilon_{eng}$) в стандарті проектування повинні бути перетворені в істинні значення напруження-деформації ($\epsilon_{true}; \epsilon_{true}$). Отримані криві "напруження-деформація" показані на рисунку 3.3 внизу праворуч. Для ізоляції з мінеральної вати в дослідженні запропоновано криву залежності провідності від температури для густини від 120 до 140 кг/м³, також виявлено, що провідність мінеральної вати (з густиною 30 кг/м³) швидко змінюється, коли температура перевищує 600°C. Густина мінеральної вати у випробуваннях становила 120 кг/м³, і на основі попередньої інформації було отримано залежність, яка показана пунктирною кривою на рисунку 3.3 (вгорі праворуч). Механічна поведінка мінеральної вати вважається лінійно-пружною з модулем Юнга, що дорівнює 30 Н/мм². Для гвинтових з'єднань спочатку використовуються пружинні скінченні елементи, їхня (білінійна) пружна жорсткість визначається на основі нормативних документів.

3.2.3 Дво-масштабна модель

Двомасштабна модель, яка використовується далі в цій роботі для зазначених симуляцій, представлена на Рисунку 3.4. Типовий приклад керуючого скрипту наведено в Додатку А, а весь код і скрипти всіх симуляцій в цій роботі доступні у відкритому доступі за посиланням. У цій роботі в загальному випадку введення температурних навантажень у двомасштабну модель організовано за допомогою

(стандартної) кривої пожежі. За бажанням можна також використовувати імітацію пожежі, як показано на рисунку 3.4, повністю зліва. В останньому випадку теплові дані з FDS (у файлі CSV) перетворюються на скрипт Python (py-файл), який може бути прочитаний Abaqus. Це досягається за допомогою власного розробленого скрипту ReWriteAST2py, який подібний до того, що використовується в рекомендаціях до моделювання.

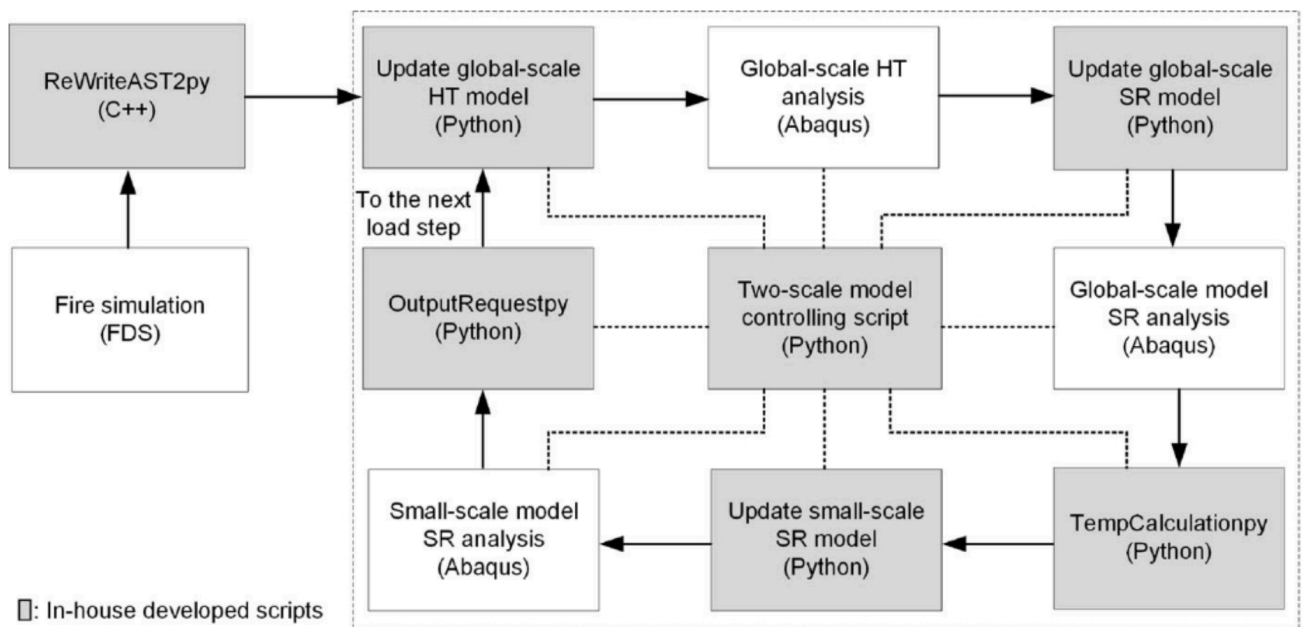


Рисунок 3.4 - Алгоритм двомасштабної моделі (у великій рамці праворуч), опціонально пов'язаної з імітацією пожежі FDS (повністю ліворуч)

На наступному кроці скрипт керування двомасштабною моделлю ініціює моделі скінченних елементів і викликає Abaqus для виконання моделей у циклі за годинниковою стрілкою. Перший крок у циклі виконується сценарієм Оновлення глобальної моделі ТП, щоб ініціювати або оновити модель ТП. Це включає в себе завантаження базового сценарію, додавання даних про теплове навантаження, а також надання визначеної користувачем інформації про крок і перезапуск. Після цього, завершена модель теплового навантаження надсилається до Abaqus для аналізу.

Після того, як результати ТП доступні, керуючий скрипт двомасштабної моделі викликає скрипт оновлення глобальної моделі SR, який завантажує базовий глобальний скрипт SR, додає інформацію про крок і перезапуск, оновлює жорсткість всіх пружинних елементів, які моделюють з'єднання, і зчитує результати ТП. Для розв'язання моделі викликається Abaqus, а далі скрипт «TempCalculationpy» використовується для отримання для кожного елемента пружини даних про залежність температури від часу, які будуть використані для дрібномасштабних моделей.

Для кожного з'єднання існує дрібномасштабна модель, яка моделюється лише за допомогою аналізу SR (без ТП), оскільки з'єднання є лише дуже малою частиною глобальної структури. Таким чином, усереднена температура на кінцях пружинних елементів використовується для повної геометрії дрібномасштабної моделі. Скрипт «Update small-scale SR model» оновлює дрібномасштабну модель, завантажуючи базовий дрібномасштабний SR скрипт, додаючи інформацію про крок і перезапуск, а також оновлюючи граничні умови в часі (з глобальної SR моделі, використовуючи субмоделювання).

Після завершення аналізу всіх дрібномасштабних моделей, керуючий сценарій двомасштабної моделі активує інший сценарій, OutputRequestpy. Цей скрипт аналізує контактні сили та вузлові переміщення для останніх двох кроків зміни навантаження, і на основі цього прогнозує жорсткість пружини, яка буде використана в глобальній моделі для наступного кроку навантаження.

Використовуючи двомасштабну модель, як описано вище, її налаштування для випробування 2 показано на Рисунку 3.5. Зліва наведено глобальну модель, а для одного гвинтового з'єднання зліва накладено графік дрібномасштабної моделі. Праворуч показано додаткові деталі для дрібномасштабної моделі вгорі, а для глобальної моделі внизу.

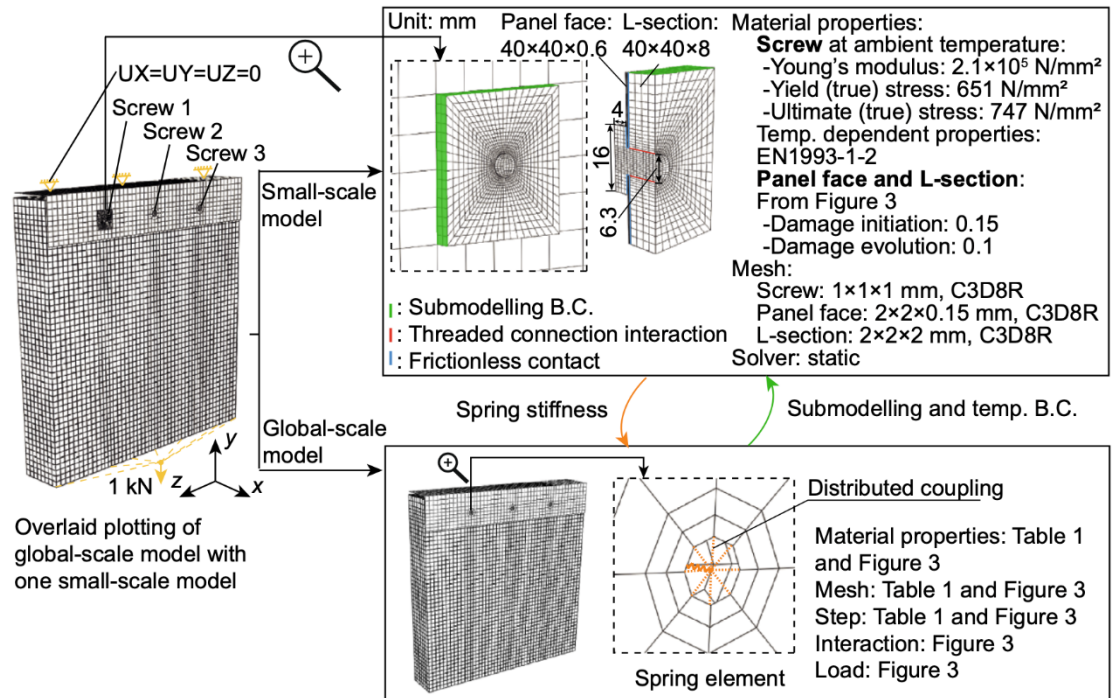


Рисунок 3.5 - Налаштування двомасштабної моделі для випробування 2

У дрібномасштабній моделі (гвинтове з'єднання) поверхня панелі та L-подібний переріз моделюються об'ємними елементами C3D8R, з уточненою сіткою біля отвору для врахування більших градієнтів напружень. Краї дрібномасштабних частин торця панелі та L-подібного перерізу, показані зеленим кольором, мають граничні умови відповідно до підходу субмоделювання. Характеристики міцності гвинтів при температурі навколишнього середовища взяті з таблиці 3.1 в EN 1993-1-8, а температурно-залежні коефіцієнти зниження властивостей матеріалу - з EN 1993-1-2. Далі зазначимо, що для позначення руйнування пластин і гвинтів використовується запатентована модель в'язкого руйнування Abaqus з налаштуваннями, як показано на рисунку. Контакт між L-подібними отворами та окружностями гвинтів моделюється за допомогою моделі Abaqus "взаємодія різьбового з'єднання", яка, як було показано, досить добре імітує поведінку контактних поверхонь з нормальним різьбленням. Інші потенційні контактні пари, наприклад, головка гвинта з поверхнею панелі та поверхня панелі з L-подібним перерізом, моделюються з використанням безфрикційного контакту.

3.3. Результати моделювання

У цьому розділі представлено результати базового моделювання пожежної структури, яке включає криву пожежі (без FDS, а отже, без OWC або TWC) та глобальну модель (без двомасштабної моделі). Оскільки результати не є одразу задовільними, дослідження параметрів для випробування 1 та двомасштабного моделювання для випробування 2 представлені в розділах 3.4 та 3.5 відповідно.

3.3.1. Аналізи теплопровідності (ТП)

На рисунку 3.6 показано порівняння результатів аналізу ТП і випробувань. Температури на стороні, що не зазнала впливу вогню (для випробування 1), та на ізоляційному сердечнику (для випробування 2) більшу частину часу прогнозуються в межах температурних діапазонів випробувань. Діапазони використовуються, оскільки температури вимірювалися в декількох місцях, див. рис. 3.2, тоді як моделювання не показало значної різниці температур у цих місцях, оскільки застосовувалася рівномірно розподілена стандартна крива пожежі. Невеликі відмінності для випробування 1 можуть бути пов'язані з наближеними властивостями матеріалу для ізоляції.

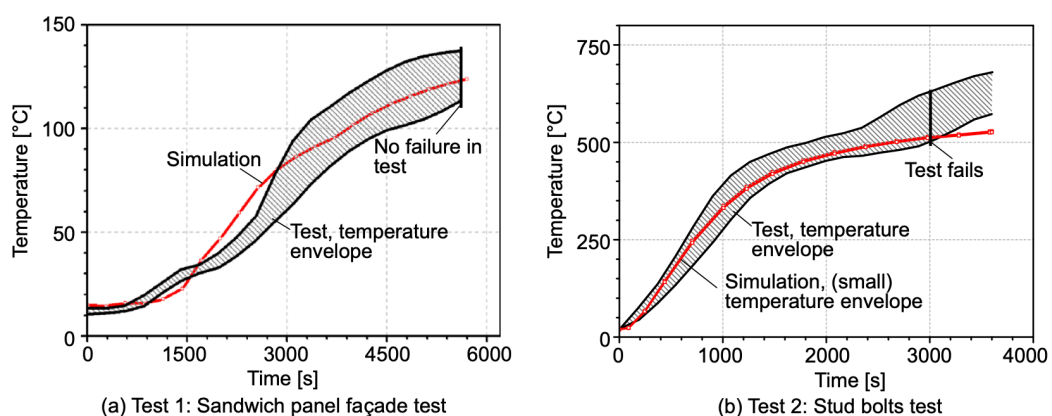


Рисунок 3.6 - Аналізи на ТП порівнюючи з випробуваннями

Для випробування 2 вимірювання температури проводилися вгорі, як показано на рисунку 3.2. Невелику різницю в кінці випробування можна пояснити

спочатку відкриттям зазору між панеллю і L-образною секцією, а потім сендвіч-панеллю, яка відвалилася і таким чином оголила датчики температури.

На закінчення, аналіз НТ показує хорошу узгодженість з обома випробуваннями для вимірних температур конструкції. Однак, оскільки для моделювання використовується температурна крива, а не імітація пожежі в печі, температури в моделюванні відносно рівномірно розподілені по площі панелей, тоді як у випробуваннях ці температури коливалися через динаміку пожежі.

3.3.2. Аналізи структурної реакції (СР)

Використовуючи налаштування аналізу СР, наведені в розділі 3.2.2, на рисунку 3.7а ліворуч показано прогини випробування 1 та його моделювання через 5500 с. Обидва графіки показують, що панель прогнулася в бік пожежі внаслідок теплового розширення. На графіку посередині чорним кольором показано середній позаплощинний прогин сендвіч-панелі в залежності від часу, тоді як червоним кольором показано прогноз, отриманий в результаті моделювання. Зсув в результаті моделювання добре узгоджується з випробуванням протягом перших 100 с (не видно через масштаб горизонтальної осі), але після цього випробування спочатку показує нерегулярну поведінку (можливо, перехідний процес), а потім обмежені позаплощинні прогини порівняно з моделюванням. Лише на заключній стадії, приблизно через 3000 с, переміщення тесту і симуляції знову збігаються. Зауважимо, що випробування не зазнало невдачі, і моделювання також не вказує на будь-яку невдачу. Суттєві відмінності у зміщеннях між моделюванням та випробуванням будуть розглянуті далі у Розділі 3.4.

Випробування 2 не передбачало вимірювання механічної поведінки. Тому на рис. 3.7b представлено графік тільки для моделювання, який показує вертикальне переміщення в точці прикладання навантаження в залежності від часу. На початку (нелінійні) вертикальні переміщення спричинені тепловим розширенням і зміною властивостей матеріалу внаслідок підвищення температури. Як тільки температура стабілізується, вертикальні переміщення панелі також зменшуються. В той час як

випробування не вдається, симуляція не показує жодних збоїв завдяки базовому рівню моделювання. Тому воно зупиняється на 3600 с, після невдачі тесту (зауважте, що немає сенсу продовжувати моделювання, оскільки температура далі не підвищується). З цієї причини більш складні симуляції, включаючи двомасштабну модель, розглядаються в Розділі 3.5.

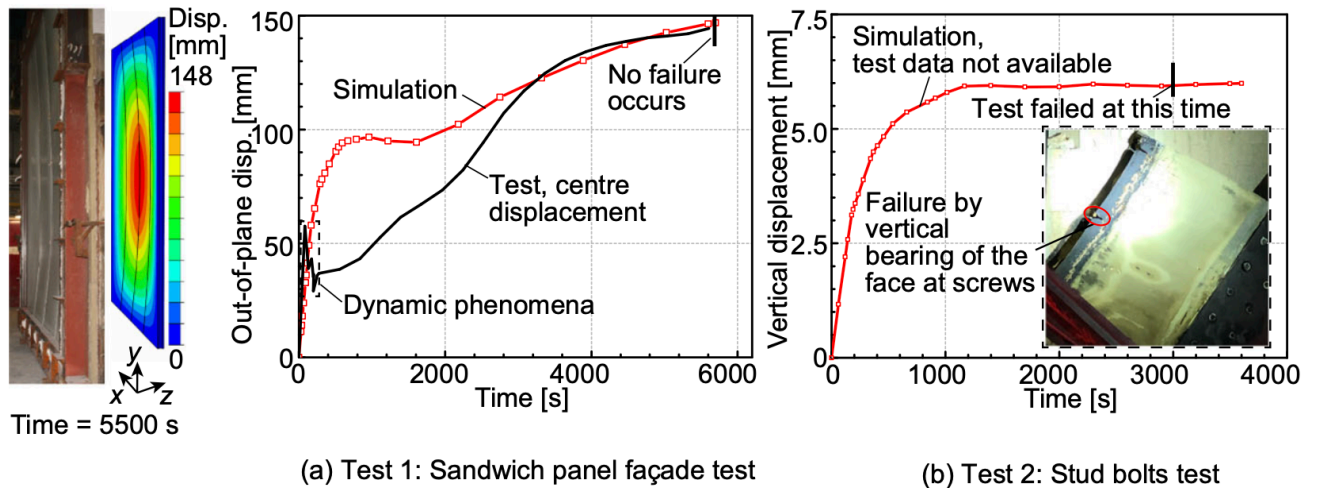


Рисунок 3.7 - Аналізи CP у порівнянні з тестами

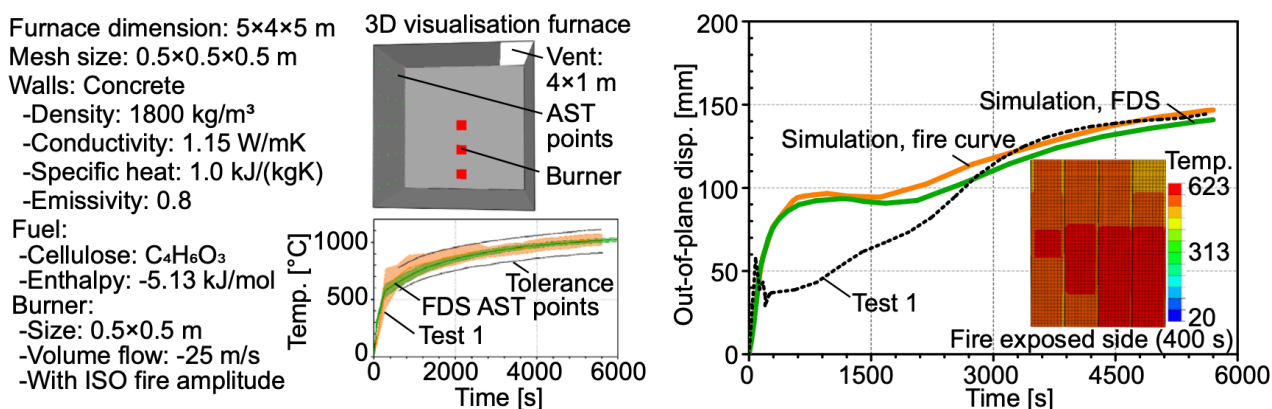
3.4. Випробування 1: Дослідження параметрів

В той час як для випробування 1 базові результати моделювання ТП досить добре узгоджуються з випробуваннями, базове моделювання CP потребує вдосконалення. Для того, щоб дослідити це далі, тут досліджуються декілька параметрів, які окремо розглядаються у відповідних розділах. 3.4.1-3.4.5.

3.4.1. Модель печі FDS замість кривої горіння

У всіх моделюваннях, наведених у цій роботі, температурне навантаження випробувань моделюється за допомогою кривої вогнестійкості ISO-834. В результаті, для випробування 1 температури, як показано моделюванням, рівномірно розподілені по стороні панелі, що піддається впливу вогню, що

відрізняється від випробування в печі. На противагу цьому, в даному підрозділі проводиться моделювання пожежної конструкції печі за допомогою OWC, тому використовується FDS для отримання пожежного навантаження, рис. 3.8а. Результати наведені на рисунку 3.8б. Виміряні температури в процесі випробування показані помаранчевим контуром на рисунку 3.8а, і ці температури відповідають вимогам стандарту ISO 834 (чорні криві). Моделювання печі за допомогою FDS дає температури, позначені зеленим контуром, які добре узгоджуються з експериментальними. Однак, FDS показує меншу варіацію температур (менший огинаючий контур) порівняно з тестом, ймовірно, завдяки більш плавному управлінню пальниками. На рис. 3.8б показано відхилення панелі від площини в залежності від часу для випробування (пунктирна лінія), аналіз ТП з використанням стандартної кривої горіння (помаранчева) і аналіз ТП після FDS (зелена крива). Позитивним є те, що випробувальна піч добре моделюється за допомогою FDS, і стандартну криву горіння можна з упевненістю використовувати в моделюванні. Однак, малоймовірно, що використання кривої пожежі замість повної моделі печі, змодельованої за допомогою FDS, спричиняє значні відмінності у зміщенні поза площиною між базовим моделюванням пожежної структури і випробуванням 1.



(a) Furnace temperature, FDS vs. test

(b) Panel out-of-plane disp., simulation vs. test

Рисунок 3.8 - Порівняння моделювання з FDS або кривою пожежі

3.4.2. Коефіцієнт теплового розширення

Теплове розширення сталевих граней панелі, яке може бути частково або повністю обмежене під час випробування, впливає на поведінку панелі поза площиною. Тому важливо, що стандарти EN 1993-1-2 і BS 5950-8, а також Посібник і звіт ASCE № 78 дають різні рекомендації щодо значень коефіцієнта теплового розширення сталі в залежності від температури, як показано на рисунку 3.9а.

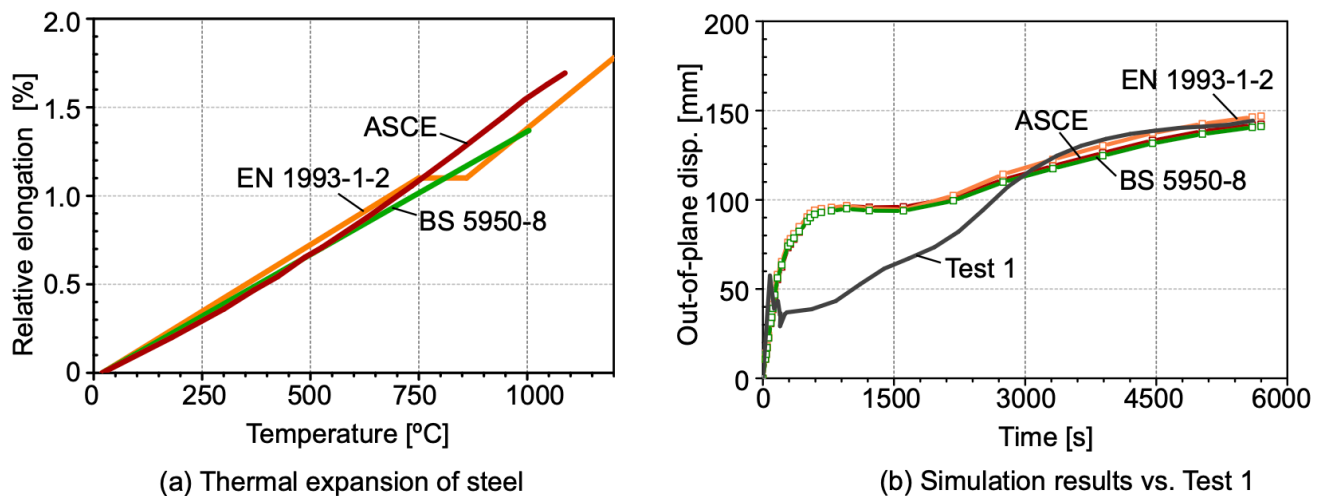


Рисунок 3.9 - (а) Коефіцієнт теплового розширення сталі за кількома стандартами, (б) Моделювання з використанням різних рекомендованих коефіцієнтів теплового розширення.

У випробуванні 1 зміщення поза площиною незахищеної від вогню поверхні вимірювали в різних місцях, і тут верхня межа (центральна точка) показана чорною кривою на рисунку 3.9б. Базове моделювання в Розд. 3.3 (з використанням властивостей сталі EN 1993-1-2) повторюється з коефіцієнтом теплового розширення відповідно до інших стандартів. На рис. 3.9б показано, що і Посібник ASCE, і Звіт № 78, і BS 5950-8 демонструють поведінку, подібну до EN 1993-1-2, правильно визначаючи максимальний позаплощинний прогин (в центрі пластини, при 5500 с). Як і в попередньому розділі, припущення щодо значень коефіцієнта теплового розширення сталі не можуть бути причиною відмінностей у зміщенні поза площиною між моделюванням і випробуванням.

3.4.3. Моделювання шпунтових з'єднань

Чотири сендвіч-панелі у випробуванні 1 поздовжньо з'єднані між собою за допомогою шпунтових з'єднань, див. відкрите з'єднання на рисунку 3.10 зліва. Під час випробування (термічно індуковані) деформації панелей можуть призвести до того, що ці з'єднання будуть напружені, ослабнуть або навіть виникне вертикальний розрив, що, в свою чергу, змінить механічні граничні умови і, таким чином, поведінку конструкції. У базовому моделюванні Розділу 3.3 поздовжні з'єднання моделюються за допомогою С-подібної форми паза, див. Рисунок 3.10, для простоти і відповідності сітки. З'єднання як з лівого, так і з правого боку має сталеву поверхню по всій геометрії з'єднання, а проникнення запобігається визначеннями контактів, як пояснюється в Розділі 3.2.2. У цьому розділі розглядається більш реалістична форма канавки "Е".

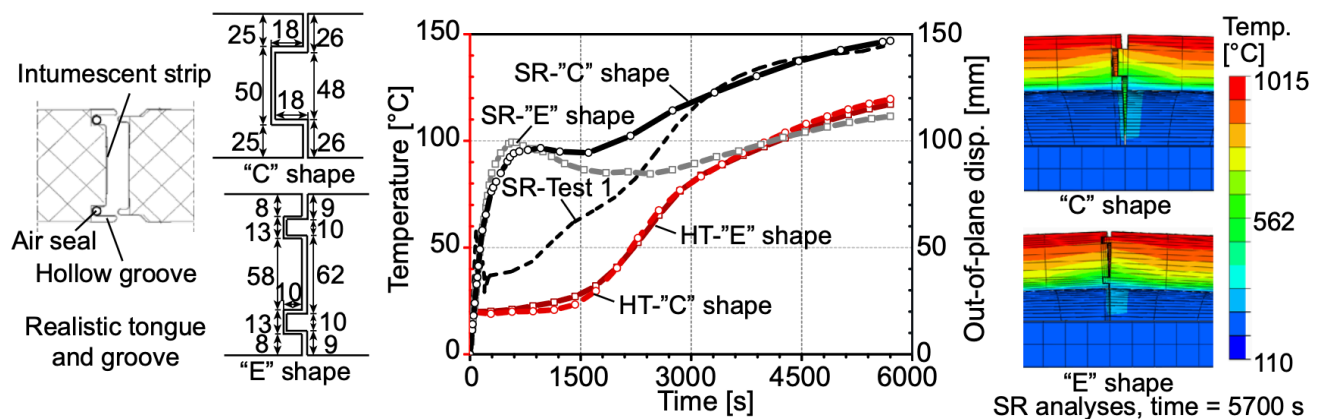


Рисунок 3.10 - Порівняння результатів моделювання з різними формами шпунтового з'єднання

Посередині рис. 3.10 на лівій вертикальній осі відкладені температури, передбачені за допомогою аналізу ТП, в центрі панелі. Для з'єднань у формі "С" і "Е" не існує значних відмінностей, однак локально можна побачити деякі температурні відмінності біля шпунта і паза, як показано на рисунку праворуч повністю. Що стосується аналізу СР (чорні криві, з використанням правої вертикальної осі), панель з'єднання "Е" демонструє поступово менші зміщення поза площиною, починаючи з 1200 с, порівняно з формою "С", використаною в Розділі

3. Хоча форма паза "Е" є дещо реалістичнішою, ніж "С", вона демонструє меншу схожість з тестом (пунктирна лінія). Це, ймовірно, можна пояснити тим, що певні деталі з'єднання не були змодельовані, наприклад, точна геометрія кромки, повітряне ущільнення, перехідна смужка тощо. Ця відсутність моделювання може компенсувати модель "С" до, здавалося б, правильних прогнозів, а модель "Е" - до занадто низьких прогнозів. У будь-якому випадку, цей розділ ясно показує, що моделювання з'єднання "шпунт-паз" є важливим, однак, воно не пояснює великі розбіжності між моделюванням і випробуванням на поза площинні зміщення.

3.4.4. Жорсткість гвинтового з'єднання

У базовому моделюванні Розділу 3.3 для гвинтових з'єднань використовуються пружинні скінченні елементи, їх білінійна жорсткість розраховується на основі "методу компонентів". Однак реальна жорсткість пружин може відрізнятися, і тому тут проводиться дослідження параметрів, див. рис. 3.11.

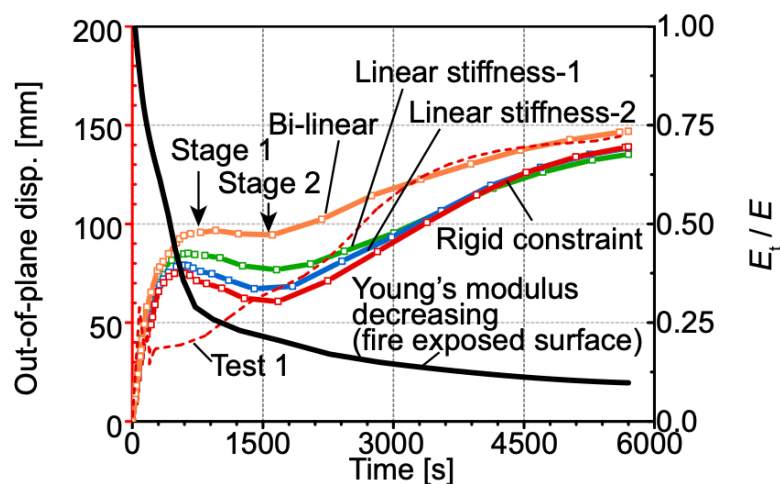


Рисунок 3.11 - СР-аналіз для різних типів жорсткості для пружинних скінченних елементів

Крім початкового білінійного налаштування, воно включає два значення лінійної жорсткості та жорстке обмеження, тобто фіксацію. Протягом перших 200 с під час випробування температура швидко зростає, а теплове розширення

поверхні, що зазнає впливу вогню, спричиняє швидкі поза площинні деформації панелі. Існують певні відмінності у відхиленнях від площини (відкладених по лівій вертикальній осі) для різних визначень жорсткості, однак ці відмінності приховані на графіку через використаний масштаб.

Починаючи зі "Стадії 1", температура більше не зростає суттєво, але модуль Юнга сталеві поверхні, що зазнала впливу вогню, сильно зменшується, як показано чорною лінією, відкладеною проти правої вертикальної осі.

Це зменшення жорсткості переважає над тепловим розширенням, і тому панелі трохи прогинаються назад, між "Стадією 1" і "Стадією 2". Нарешті, після "Етапу 2" модуль Юнга лише незначно зменшується, теплове розширення переважає, і знову збільшує відхилення від площини. Хоча жорсткість з'єднання впливає на загальну поведінку конструкції, очевидно, що вона не є причиною великої різниці у зміщеннях поза площиною між моделюванням та випробуванням.

3.4.5. Моделювання адгезійного шару

Останнім аспектом, який тут досліджується, є поведінка клейового шару між лицьовими сторонами панелі та ізоляційним сердечником. А саме, спочатку відхилення панелі від площини повинно бути спричинене більшим розширенням поверхні, що зазнала впливу вогню (порівняно з поверхнею, що не зазнала впливу вогню), але тільки в тому випадку, якщо це розширення може бути передане панелі через клейовий шар (пізніше вважається, що відхилення від площини також є функцією температурних градієнтів у напрямку товщини панелей з боків, тобто з'єднань шпунт-паз).

Таким чином, руйнування клею може вплинути на поведінку конструкції. Тому в цьому розділі моделюється клейовий шар на додаток до моделювання в Розділі 3.3.2, як показано на Рис. 3.3 та на рис. 3.12 (зліва).

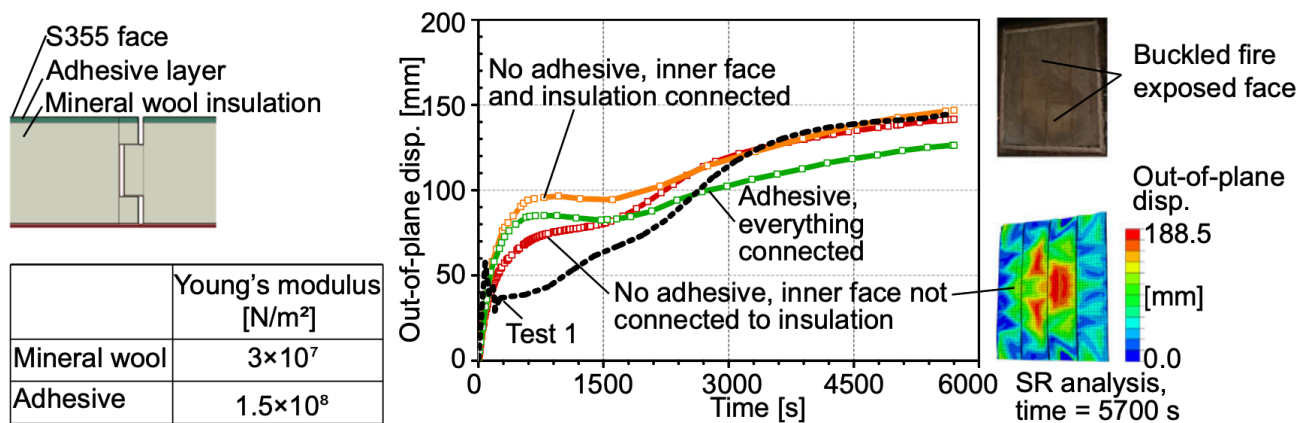


Рисунок 3.12 - Моделювання адгезійного шару та пов'язані з ним статичне і динамічне моделювання СР

Товщина шару становить 5 мм з міркувань моделювання, наприклад, для дотримання належних співвідношень сторін елементів. Використовуються властивості поліуретану: вважається, що клей поводить себе як лінійно пружний з модулем Юнга, як показано на рисунку 3.12. Оскільки модуль Юнга клею більший за модуль Юнга мінеральної вати, модель з шаром клею (зелена крива) демонструє жорсткішу поведінку порівняно з базовою моделлю (помаранчева крива) під час повного випробування. Однак температура плавлення (не змодельована) клейового шару є відносно низькою - приблизно 60°C, і тому його властивості погіршуються незабаром після початку випробування. Як наслідок, сторона лицьової панелі, що піддається впливу вогню, може (частково) від'єднатися від ізоляційного сердечника, що може пояснити подальші динамічні явища, показані на рисунку 3.7а. Тому було проведено третє моделювання без з'єднання між тонкостінною поверхнею та ізоляцією на стороні, що піддається впливу вогню. Це фактично означає, що поверхня піддається впливу вогню з точки зору теплової поведінки, але без структурних ефектів. Оскільки статичний алгоритм може мати проблеми з (частково) вільною поверхнею (тобто через наявність сингулярностей) або режимами структурної нестабільності тонкої поверхні (перехідні явища через відсутність пружної підтримки з боку клею та ізоляції), використовується (неявний) динамічний алгоритм. На рисунку 3.12 червоною кривою показано, що з усіх попередніх змінних параметрів ця остання симуляція є єдиною, яка чітко зменшує

поза площинні переміщення в найбільш важливому місці на графіку, залишаючи кінцеві поза площинні переміщення незмінними. Таким чином, вважається, що поведінка клею і поведінка поверхні, що зазнала впливу вогню, зі структурною нестабільністю і пов'язаною з нею взаємодією з клеєм, є, принаймні, факторами, що впливають на різницю в деформаціях поза площиною між моделюванням і випробуванням.

3.5. Випробування 2: Застосування двомасштабної моделі

Для випробування 2 в розділі 3.3 в базовій симуляції гвинтові з'єднання спрощені за рахунок пружинних елементів. Це може бути причиною розбіжностей між тестом і моделюванням, оскільки тест не пройшов через вертикальну опору, яку вибило на гвинтових з'єднаннях. Тому при підготовці до використання двомасштабної моделі спочатку більш детально вивчають вихідний аналіз ТП, який стосується гвинтових з'єднань (див. розділ 3.5.1). Потім за допомогою субмоделювання вивчається механічна поведінка з'єднань (п. 3.5.2). Нарешті, після налаштування, описаного в підрозділі 3.2.3, проводиться аналіз СР з використанням двомасштабної моделі, як це представлено в розділі 3.5.3.

3.5.1. Теплопровідний аналіз з'єднань

На рис. 3.6b показано, що для тестових вимірювань на панелі прогнози НТ-аналізу точні до 2300 с, коли, можливо, стався розрив між панеллю і L-образним перерізом, і до 3000 с, коли спостерігалось руйнування. Під час випробування не було проведено жодних вимірювань на з'єднаннях, однак, з певною долею впевненості, аналіз НТ може надати цю інформацію, див. Рисунок 3.13. Графік зміни температури показує поперечний переріз сендвіч-панелі в площині x - y в кінці моделювання. Нижня частина нагрівається рівномірно, в той час як верхня частина залишається при нижчій температурі через її з'єднання зі стелею, яка, за припущенням, залишається при температурі навколишнього середовища.

Початковий і кінцевий вузли пружин позначені червоними крапками. Для середнього пружинного елемента видно обидва, тоді як для правої пружини видно лише кінцевий вузол. У зв'язку з цим розташуванням, лицьова сторона панелі поблизу L-образної секції дещо ізольована від нагрівання L-образною секцією, про що свідчать нижчі температури порівняно з лицьовою стороною на протилежному боці. Можливо, це пов'язано з меншим випромінюванням і провідністю завдяки відносно прохолодній L-образній секції, з'єднаній зі стелею. У розділі 3.2.3 пояснюється, що теплові граничні умови для маломасштабної моделі беруться з середньої температури початкового і кінцевого вузлів пружини, яка тут показана зеленою кривою. Як видно, ця середня температура, а також температури торця панелі та L-подібного перерізу дуже близькі, тому такий підхід видається обґрунтованим. Аналіз НТ прогнозує середню температуру гвинта на рівні 730°C , коли виникає розрив (на 2300 с), а для руйнування на 3000 с температура гвинтового з'єднання дорівнює 780°C . Ця інформація далі використовується в Розділі 3.5.3.

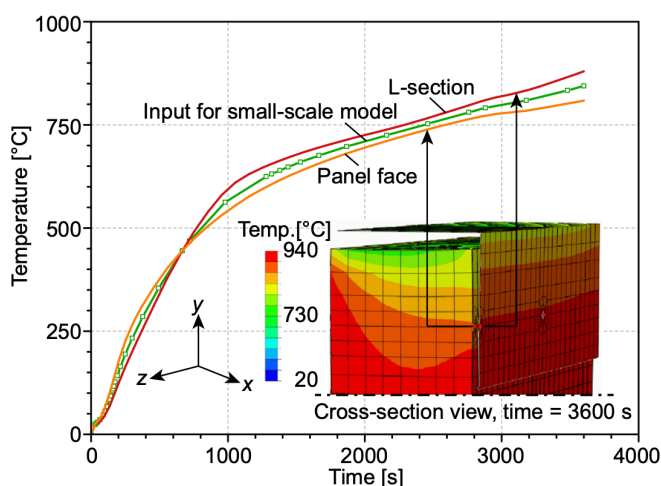


Рисунок 3.13 - Аналіз ТП, результати біля з'єднань

3.5.2. CP Аналіз з'єднань, включаючи субмоделювання

Базова симуляція CP використовує три лінійні пружні пружинні елементи, засновані на лінійній жорсткості - 1, як показано на Рисунок 3.11 і рекомендовано таблицею в стандартах. Залежність сили зсуву від деформації зсуву пружинних

елементів 1 і 2 (розташованих ліворуч і посередині) показано на Рисунок 3.14. Пружинний елемент 3 (праворуч) поводить себе так само, як і елемент 1, завдяки симетрії, а абсолютні деформації зсуву наведено для порівняння. На рисунку зліва видно, що горизонтальна деформація зсуву (у напрямку z) швидко зростає на початку пожежі через теплове розширення панелі (граней) і менше розширення L-образного перерізу, оскільки останній має більшу масу і з'єднаний зі стелею. Потім деформація горизонтального зсуву зменшується. Це, ймовірно, пов'язано зі зменшенням різниці температур між торцем панелі і L-образним перерізом, а також з тим, що певну роль може відігравати термоіндукована пластичність і пов'язана з нею релаксація. Щодо вертикальних деформацій зсуву (в напрямку y), то на рис. 3.14b показано, що деформації зсуву всіх пружинних елементів малі і залишаються відносно постійними під час моделювання. Звичайно, теплове розширення не може спричинити вертикальні деформації зсуву, оскільки панель закріплена лише зверху. Спочатку всі три пружини демонструють пружні деформації зсуву вниз під дією навантаження, потім деформації зсуву лівої і правої пружин (пружинний елемент 1, помаранчевий) зменшуються, ймовірно, через релаксацію панелі у вертикальному напрямку, що можливо, оскільки внаслідок горизонтального розширення лівий і правий кути панелі більше не обмежуються L-подібним перерізом (див. контурну діаграму). Зі збільшенням температури модуль Юнга зменшується, що сприяє подальшому зменшенню різниці між пружинами.

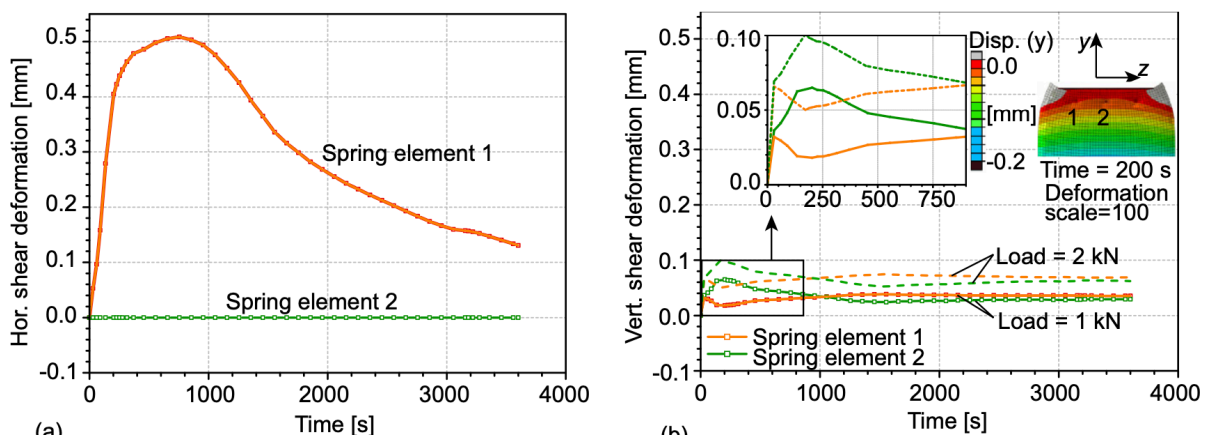


Рисунок 3.14 - Аналіз СР, вертикальна (а) та горизонтальна (б) залежність зсувної сили від зсувного прогину пружинних елементів 1 та 2 у базовій симуляції глобального масштабу

Найважливіше те, що порівняння рисунків 3.14a і b показує, що максимальна вертикальна деформація зсуву, пов'язана з навантаженням 1 кН, значно менша, ніж горизонтальна деформація зсуву, внаслідок теплового розширення. Однак, всі дані для випробування 2 вказують на руйнування вертикальної опори гвинтових з'єднань, і тому очікуються великі деформації зсуву в напрямку у. Для підсилення руйнування було застосовано навантаження 2 кН замість 1 кН, як показано пунктирними лініями на рисунку 3.14b. В результаті вертикальні деформації зсуву приблизно вдвічі вищі, що має сенс, однак ці деформації зсуву все ще набагато нижчі, ніж горизонтальні деформації зсуву. Це не узгоджується з фотографічними даними (див. Розділ 3.2.1), які свідчать про горизонтальний зсув, причому вертикального зсуву не видно.

Для покращення розуміння поведінки гвинтових з'єднань зараз намагаються застосувати "класичне" субмоделювання. На практиці це передбачає застосування двомасштабної моделі, як представлено в розділі 3.2.3, але по-іншому: спочатку використовується глобальна модель на весь час моделювання, потім запускається дрібномасштабна модель на той самий період, і таким чином не відбувається ніякої взаємодії між двома масштабами. Результати для (дрібномасштабної) субмоделі гвинтового з'єднання 1 (яке розташоване зліва, аналогічно до правого) на зсув показані на рисунку 3.15.

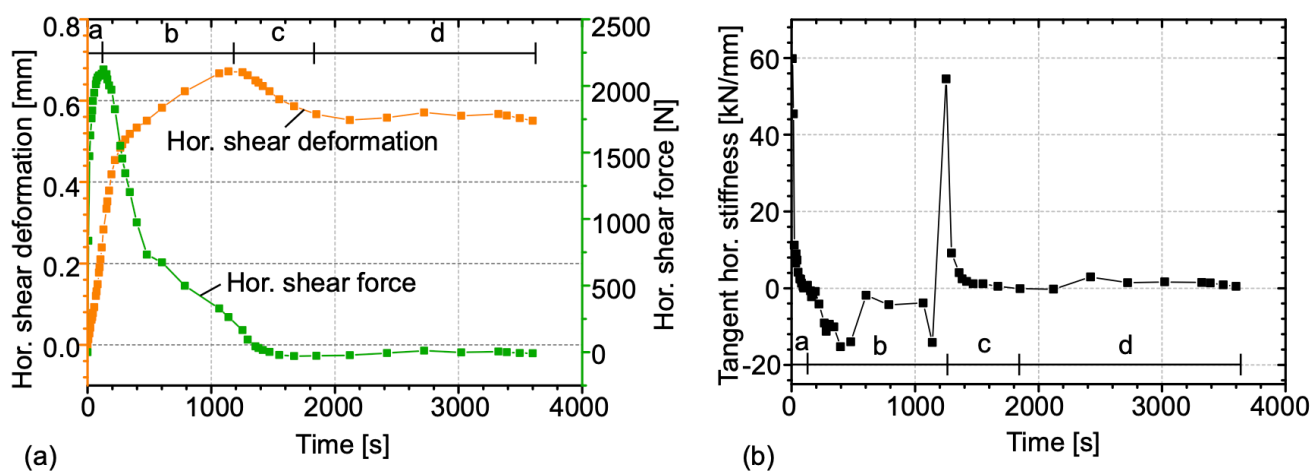


Рисунок 3.15 - Зсув і сила зсуву в залежності від часу для гвинтового з'єднання 1 за допомогою субмоделювання

Деформація зсуву гвинтового з'єднання в напрямку z приймається як різниця між переміщеннями двох отворів, у торці панелі та L-подібному перерізі відповідно. Для сили зсуву (відкладеної вздовж правої вертикальної осі) використовуються контактні сили між хвостовиком гвинта і L-образним перерізом (їх поверхні показані червоними лініями на рис. 3.5). Тангенціальна жорсткість, представлена на рисунку праворуч, розраховується за допомогою кінцевих різниць між кожними двома приростами. Криві залежності сили зсуву і деформації від часу значно відрізняються від кривих оригінальної (глобальної) моделі, як показано на рисунку 3.14, через численні нелінійності. Зокрема, залежні від температури властивості матеріалу, пластичність і зміни граничних умов є одночасно задіяними. Як показано на рисунку 3.15, під час випробування можна спостерігати чотири окремі стадії. На стадіях (a) і (b) пов'язана зі зсувом деформація з'єднання в z -напрямі збільшується через теплове розширення лицьової сторони панелі більше, ніж розширення L-подібного перерізу. Однак контактна сила збільшується на стадії (a), тоді як на стадії (b) вона зменшується через ослаблення сталі, що призводить до від'ємної дотичної жорсткості, див. рис. 3.15b. Стадія (c) пов'язана зі зменшенням деформацій, на якій контактна сила дрібномасштабної моделі зменшується і врешті-решт показує від'ємні значення. Нарешті, поведінка гвинтового з'єднання стабілізується на стадії (d), ймовірно, тому, що лінійний пружинний елемент у глобальній моделі залишається жорстким (тоді як у дрібномасштабній моделі ця жорсткість, безумовно, прогнозовано нижча через враховані нелінійності).

3.5.3. Двомасштабна модель: Прогнозування навантаження на відмову під час випробування

Для прогнозування руйнівного навантаження для випробування 2 тут використовується двомасштабна модель, як показано в розділі 3.2.3. Однак, щоб мати можливість дослідити граничне навантаження панелі, для навантаження панелі та гвинтових з'єднань використовується контроль переміщень, а отже,

теплове розширення сталі вимкнено. Щоб уникнути довільних комбінацій між заданими значеннями переміщень і значеннями температурних кривих, моделювання проводиться для декількох фіксованих температур.

Загальний час моделювання 3600 с розбито на 12 кроків навантаження, що означає, що жорсткість пружини в глобальній моделі оновлюється кожні 300 с. Для кроків використовується автоматичний крок за часом як для глобальної, так і для дрібномасштабної моделі. Однак, щоб уникнути випадку, коли для кроку навантаження потрібно лише 1 або 2 кроки, і, відповідно, жорсткість пружини не може бути передбачена за допомогою кінцевих різниць достатньо добре в кінці кроку навантаження, дрібномасштабна модель налаштована таким чином, щоб принаймні п'ять кроків закінчувалися в рівномірно розподілених інтервалах уздовж кроку навантаження. Потім жорсткість з'єднання розраховується на основі кінцевих різниць для останнього (п'ятого) інтервалу.

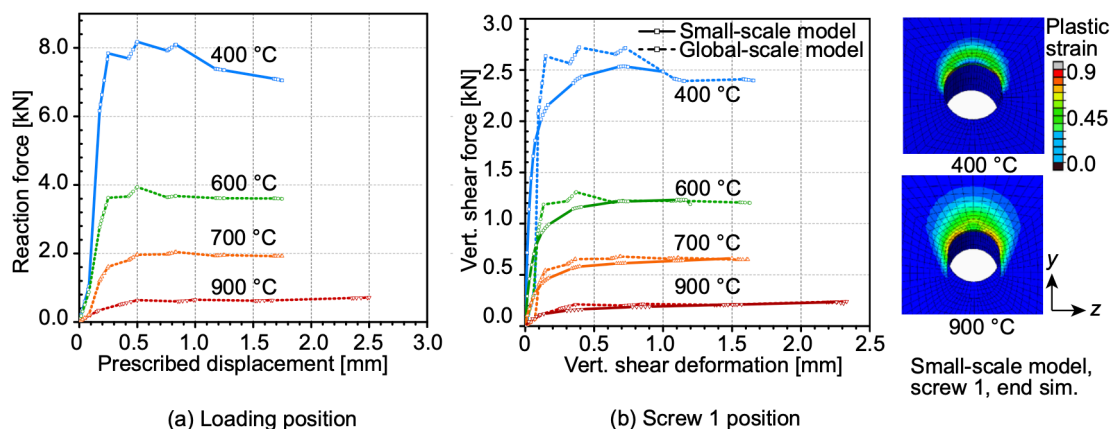


Рисунок 3.16 - (а) Сила реакції в залежності від заданого переміщення панелі; (б) Вертикальна сила зсуву в залежності від деформації зсуву для дрібномасштабної моделі та глобальної пружини.

Результати моделювання показані на рис. 3.16 для фіксованих температур 400°C, 600°C, 700°C і 900°C відповідно. Зліва на Рисунку 3.16 вертикальна сила реакції показана як функція вертикального заданого переміщення. У випробуванні було застосовано вертикальне навантаження 1 кН, і інформація на Рисунку 16а вказує на те, що великі вертикальні переміщення для цього навантаження

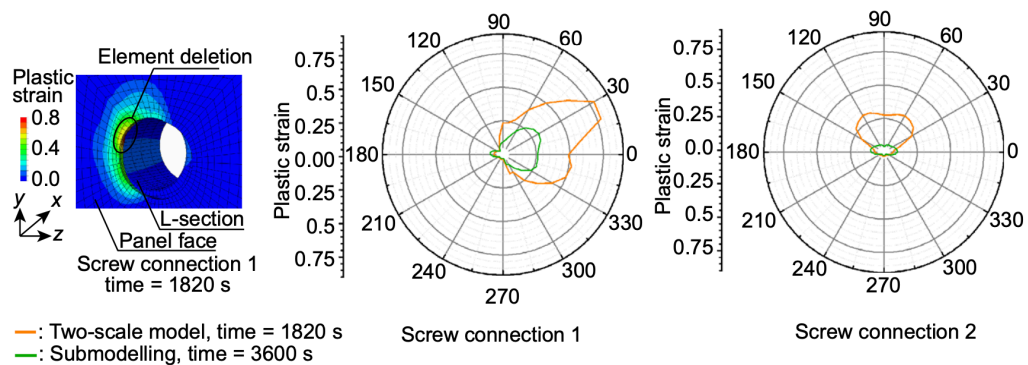
очікуються при температурах між 700°C і 900°C. На рисунку 13 моделювання показує, що в момент, коли тест не пройшов, температура гвинтів дорівнювала 780°C, що відповідає температурному діапазону, передбаченому тут для великих вертикальних переміщень панелі.

На рисунку 3.16b показано залежність вертикального зсувного навантаження від деформації зсуву гвинтових з'єднань. Пунктирні лінії використовуються для пружини глобальної моделі, що представляє гвинтове з'єднання 1 (ліва пружина дорівнює правій пружині завдяки симетрії). Суцільні лінії використовуються для маломасштабної моделі. Нерегулярна поведінка глобальної моделі пояснюється оновленням жорсткості пружини (за допомогою дрібномасштабної моделі) після кожного кроку навантаження. Це не стосується дрібномасштабної моделі, яка демонструє плавну поведінку. Оскільки значення деформації зсуву гвинтів майже дорівнюють заданому переміщенню панелі, очевидно, що вертикальні переміщення панелі (рис. 3.16a) спричинені деформацією зсуву гвинтів. У правій частині рисунка 3.16 показано пластичну деформацію в торці для малої моделі, гвинт не зображено для наочності: Вертикальна опора є більш важкою для більш високих температур. На закінчення, двомасштабна модель прогнозує великі вертикальні переміщення панелі і вертикальне навантаження на отвори для гвинтів у торці панелі, все це десь між 700°C і 900°C. Це відповідає температурі гвинтів під час випробування на момент руйнування, яка прогнозується на рівні 780°C.

3.5.4. Двомасштабна модель: Програма для випробування 2

Наведене вище моделювання, кероване переміщенням, показує, що двомасштабна модель може давати корисні прогнози руйнування для гвинтового з'єднання, тому в цьому розділі двомасштабна модель реалізована для керованого навантаженням випробування 2 (випробування шпильок). Налаштування моделі пожежної конструкції таке ж, як і в кінці Розділу 3.5.2, з використанням субмоделювання, однак тепер три пружини в глобальній моделі оновлюються кожні 300 с за допомогою інформації з трьох дрібномасштабних моделей. З іншого боку,

тут виконується те саме моделювання, що й у попередньому розділі, за винятком того, що тепер замість заданого переміщення прикладається навантаження 1 кН, а також вмикається теплове розширення. Отриманий графік залежності вертикального переміщення від часу (не показаний) дуже схожий на вихідну модель (тільки з трьома пружинами), див. Рисунок 3.7. Зверніть увагу, що вертикальні переміщення на рисунку 3.7 (макс. 6 мм) значною мірою зумовлені тепловим розширенням, на що вказують набагато менші переміщення (макс. близько 2 мм) на рисунку 3.16а. На відміну від базового моделювання, двомасштабна модель вказує на руйнування при 1820 с, що пов'язано з руйнуванням дрібномасштабної моделі гвинтового з'єднання 1, через занадто високі пластичні деформації, характер яких показано на рис. 3.17.



Зліва контурний графік пластичних деформацій; справа пластичні деформації по колу свердління отвору у вибої

Рисунок 3.17 - Малогабаритна модель для гвинтового з'єднання 1, випробування 2.

Пластичні деформації для гвинтових з'єднань 1 (ліворуч, дорівнює праворуч через симетрію) і 2 (посередині) показані в центрі і праворуч на рисунку. Це отримано шляхом побудови графіка пластичної деформації вздовж окружності свердління отвору у вибої, в шарі елемента, найближчому до L-подібного перерізу. Від'ємний напрямок z знаходиться при 0°C , а додатний напрямок y - при 90°C , тому контурний графік і графік кругової деформації виглядають дзеркально. Для лівого/правого гвинтових з'єднань деформації пластику (помаранчевий колір, 1820с) є найвищими при температурі близько 30°C , що можна пояснити поєднанням теплового розширення в (горизонтальному) напрямку z і зовнішнього навантаження в (вертикальному) напрямку y. Для середнього гвинтового з'єднання

в площині симетрії пластичність зумовлена лише вертикальним навантаженням у напрямку y , що вказує на початок вертикального перенесення. Порівнюючи результати з субмоделюванням (Розділ 3.5.2, позначені зеленими кривими, при 3600 с), пластичні деформації прогноуються набагато вищими для двомасштабної моделі, що підкреслює важливість взаємного зворотного зв'язку між глобальною і дрібномасштабною моделями.

У підрозділі 3.5.3 жорсткість пружини змінювалася досить плавно в глобальній моделі, див. Рисунок 3.16 в середині. Однак жорсткість пружини в поточній симуляції (двомасштабній, випробування 2) сильно коливається. Це може бути викликано двома причинами. По-перше, гвинтові з'єднання не тільки навантажуються, але й розвантажуються через те, що сталь стає слабшою за вищих температур. Це може означати коливання, якщо дрібномасштабна модель не впорається з розвантаженням належним чином. Однак, Додаток В доводить, що маломасштабна модель досить добре справляється з навантаженням і розвантаженням. По-друге, жорсткість пружини в глобальній моделі визначається кінцевою різницею між навантаженням і переміщенням для дрібномасштабної моделі для останнього кроку. Якщо ці кінцеві різниці надзвичайно малі для напрямків, де не відбувається жодної дії (наприклад, горизонтальний напрямок z для середнього гвинтового з'єднання), то чисельний шум і чергування кроків навантаження з дією і без дії можуть викликати сильні коливання. Хоча це не ідеальна ситуація, заспокоює усвідомлення того, що як тільки переміщення з'являються вище шумового рівня, природно, знову прогноуються відповідні значення жорсткості.

Таким чином, двомасштабна модель показує вертикальне положення гвинтових з'єднань після того, як повідомлялося про невдачу випробування. Однак цей вертикальний зсув пов'язаний з ще більшою деформацією в горизонтальному напрямку через теплове розширення, яке не було видимим (але присутнім) під час випробування. Для визначення руйнування панелі внаслідок вертикального навантаження необхідно було визначити певний зсув при прикладанні навантаження.

3.6. Висновки та подальша робота

Було представлено два повномасштабних випробування на вогнестійкість. Першим випробуванням було випробування на вогнестійкість сендвіч-панелей, в якому чотири сендвіч-панелі, з'єднані поздовжніми шпунтовими з'єднаннями і з'єднані гвинтами з рамою, були піддані пічному вогню з одного боку панелей. Були зафіксовані позаплощинні прогини, але конструкція не вийшла з ладу під час випробування. Друге випробування включало в себе випробування шпильками, коли одна панель була завантажена вертикально, закріплена гвинтами до L-образної секції, і ця секція була прикручена до стелі печі. Після нагрівання всієї панелі з усіх боків цей другий тест, швидше за все, не пройшов через вертикальне розташування отворів для гвинтів на торцях панелі.

Щоб дослідити якість моделювання пожежної конструкції для цих випробувань, було проведено перше базове моделювання. Загалом, аналіз теплопередачі добре узгоджується з результатами випробувань: Для випробування 1 моделювання більшу частину часу знаходиться в межах, і лише 20% часу - не більше 20% - за межами огорожувальної конструкції, тоді як для випробування 2 моделювання завжди знаходиться в межах виміряного діапазону. Аналіз структурної реакції потребує інвестицій: Для першого випробування прогини поза площиною були переоцінені (100 мм прогнозовано, 40 мм виміряно) на початку випробування. Тому було проведено дослідження параметрів, в якому вивчався (а) тип пожежного навантаження (стандартна крива пожежі або CFD-FDS); (б) коефіцієнт теплового розширення (сталі); (в) моделювання шпунта; (г) жорсткість з'єднання; і (д) адгезія між лицьовою стороною і серцевиною ізоляції. Дослідження показало, що розкладання клею, яке призвело до відшарування лицьової поверхні і, можливо, пов'язаної з цим нестабільності, повернуло відхилення від площини до 70 мм. Таким чином, це, принаймні частково, є причиною недоліків моделювання і потребує більш точного моделювання. Крім того, дослідження довело, що для стандартних випробувань печі прийнятним є використання стандартної кривої пожежі замість моделювання динаміки пожежі, як для теплових, так і для

механічних прогнозів, оскільки відмінності у зміщенні поза площиною були в межах 10%.

Для другого випробування базове моделювання не показало руйнування, лише горизонтальне зміщення внаслідок теплового розширення, тоді як випробування не відбулося через вертикальне зміщення. Це було додатково досліджено шляхом вивчення температури гвинтових з'єднань, яка відрізнялася від температури навколишніх компонентів не більше ніж на 7%. Після цього пружини, що представляли гвинтові з'єднання в глобальній моделі, були замінені на дрібномасштабні моделі за допомогою субмоделювання. Це показало значну нелінійність з'єднань і горизонтальний зсув внаслідок теплового розширення до 0,7 мм. Тому навантаження на руйнування панелі досліджували за допомогою заданого зміщення замість фіксованого навантаження, яке показало, що навантаження на руйнування під час випробування становило від 0,8 кН до 2,0 кН для 700 і 900 градусів Цельсія відповідно. Нарешті, була використана двомасштабна модель, яка вказувала на вертикальне навантаження, окрім ще більш значного горизонтального навантаження.

Майбутні випробування повинні включати більше релевантних для моделювання вимірювань, наприклад, інформацію про (локальне) вигинання, розшарування клею і поведінку з'єднання. Крім того, глобальні моделі повинні включати особливості, характерні для конструкції, що моделюється (наприклад, шари клею, динамічний розв'язувач), відомі лише після випробувань і базового моделювання, а з'єднання можуть мати вирішальне значення для поведінки в глобальному масштабі, що може бути враховано в двомасштабній моделі. Нарешті, випробування показали складну поведінку в різних масштабах, а модифікації і вдосконалення моделювання підвищили його точність. Тому імітаційне моделювання пожежних конструкцій завжди слід перевіряти випробуваннями і порівнювати з базовим моделюванням, а також передбачати модифікації в імітаційних моделях.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Обґрунтування актуальності вирішення питань охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях в ході проектної розробки

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Вирішення питань з охорони праці в ході проектної розробки має на меті зменшити виробничі травми та професійні захворювання, які виникають в результаті дії небезпечних та шкідливих факторів, таких як вплив шкідливих речовин, неналежні умови праці, погана освітленість робочого місця, шум та вібрація, оптимізувати метеорологічні умови на робочому місці працівників.

Розробка вимог до охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях є невід'ємною частиною проекту на будівництво. Додержання і виконання вимог охорони праці має гарантувати розроблена система, що вміщує комплекс задач. Основи цієї комплексної системи становлять такі необхідні умови:

- використання захисних засобів і приладів, що забезпечує оптимальні санітарно-гігієнічні умови і виключає травматизм та професійні захворювання;
- комплексна механізація;
- впровадження нової безпечної техніки діючих методів організації праці і технології будівельного виробництва;
- створення систем оповіщення про надзвичайні ситуації, ознайомлення працівників із порядком дій при їх виникненні тощо.

Поруч з розвитком промисловості найважливішим є створення здорових та безпечних умов роботи. Завдання охорони праці потрібно звести до мінімальної ймовірності можливості ураження або захворювання працюючих із забезпеченням комфорту та нормальної працездатності.

Сучасний спеціаліст будівництва повинен мати достатній обсяг знань в галузі охорони праці, та вміти з їх допомогою вирішувати практичні інженерні задачі, щодо створення безпечних і здорових умов праці в будівельній галузі.

Забезпечення безпечної життєдіяльності у надзвичайних ситуаціях (НС) базується на комплексі організаційних, інженерно-технічних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя і здоров'я людини у всіх сферах її діяльності. Для цього необхідно:

- спрогнозувати та оцінити можливі наслідки;
- заздалегідь спланувати заходи із запобігання та зменшення вірогідності виникнення НС
- скорочення масштабів прояву результатів НС;
- організація робіт в умовах НС та ліквідація її наслідків.

Також в наш час особливо гостро постало питання про охорону природи і захист навколишнього середовища. Стрімкий розвиток науки і техніки протягом останнього століття призвів до значного виснаження природних ресурсів. Тому дуже важливим є застосування заходів, які би сприяли раціональному використанню природних ресурсів. Захисту від шкідливих викидів в атмосферу, забрудненню земель, поверхневих і підземних вод.

4.2. Аналіз будівельного процесу з метою виявлення небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При земляних роботах основними причинами травматизму є обвали ґрунту. У більшості випадків обвали ґрунту виникають із-за порушення крутизни відкосів. Зовнішнє додаткове навантаження при розробці виїмок (відвал землі, встановлення на краю відкосів будівельних машин та ін.) може викликати обвали ґрунту, якщо їх розташування не буде враховуватись. Знаходження сторонніх людей в зоні роботи екскаватора може бути небезпечним для їх життя та здоров'я. Крім того, роботи нульового циклу (земляні, влаштування фундаменту) виконуються в основному з допомогою землерийно-транспортної техніки. Машиністи і оператори

цієї техніки піддаються дії таких шкідливих факторів, як вібрація, шум, запиленість, загазованість повітря, переохолодження чи перенагрівання організму. Робота водіїв іноді може супроводжуватись значною перевтомою.

При роботі будівельних машин та механізмів небезпечними та шкідливими виробничими факторами є дія механічної сили, ураження електрострумом, несприятливі фактори виробничого середовища (мікроклімат, шум, вібрація, запиленість та загазованість повітря).

При монтажних роботах небезпечними виробничими факторами є: несправність такелажного обладнання, що може викликати падіння монтованих конструкцій; несправність засобів індивідуального захисту, що призводить до падіння людей з висоти; несправність та втрата стійкості засобів підмоцвання. Зварювальні роботи супроводжуються забрудненням повітря газами (окиси азоту, вуглецю, фтористого водню і таке інше) і аерозолями металів і їх з'єднань.

При покрівельних роботах небезпечним виробничим фактором є падіння робочих з висоти, погані метеорологічні умови. Для зменшення їх впливу робочі повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту, а при поганих кліматичних умовах роботи на покрівлі не проводяться.

При оздоблюваних роботах небезпечними та шкідливими виробничими факторами є дія токсичних речовин будівельних матеріалів (клеї, фарби тощо).

При роботі з електроінструментом (електродрелі, електрорубанки, електроножниці, пневмотрамбовки, шліфувальні машини) основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами є:

- можливість нанесення оператору механічних травм;
- електронебезпека, що може призвести до ураження оператора струмом при пробиванні ізоляції струмопровідних частин машини;
- шумонебезпека, вібрація.

Машини, що працюють абразивними кругами (шліфувальні машини), складають небезпеку через великих швидкостей обертання робочого інструменту.

4.3. Основні нормативні вимоги при виконанні окремих видів робіт та експлуатації машин і механізмів

Загальні вимоги до робітників, зайнятих на будівництві

Усі працівники, які приймаються на постійну чи тимчасову роботу, і при подальшій роботі, повинні проходити навчання в формі інструктажів з питань охорони праці, надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих.

Робітники можуть бути допущені до виконання будівельно-монтажних робіт тільки після проходження ними вступного інструктажу з техніки безпеки, а також первинного інструктажу на робочому місці з відповідними записами в журнал по техніці безпеки. Перед виконанням окремих видів робіт (електрозварювання, монтаж конструкцій, висотні роботи, робота з шкідливими речовинами) проводиться цільовий інструктаж безпосередньо на робочому місці.

Такелажники-стропувальники і транспортні робітники, які зайняті на навантажувально-розвантажувальних роботах і обслуговують транспортні і вантажопідйомні машини, допускаються до самостійного виконання цих робіт після проходження цільового інструктажу.

На будівельному майданчику передбачено такі санітарно-побутові приміщення: гардеробні, умивальні, туалети, душові, приміщення для сушіння та знепилення одягу, приміщення для гігієни жінок, приміщення для обігріву та відпочинку, укриття від сонячної радіації і атмосферних опадів, пункти харчування, медпункт та інші приміщення, встановлені і обладнані відповідно до норм з проектування споруд і приміщень, медпункти і пункти харчування будівельно-монтажних організацій.

Санітарно-побутові приміщення розміщені в одному районі біля входу на будівельний майданчик і обладнані аптечками з медикаментами, наборами фіксуємих шин та інших засобів, які необхідні для надання першої медичної

допомоги, засобами надання першої медичної допомоги. Розміщення санітарно-побутових приміщень показані на листі креслення 10.

На будівельному майданчику передбачено забезпечення всіх працюючих питною водою відповідно до санітарних норм. Питні установки розміщуються на віддалі до 75 м від робочих місць. Якщо в сирому вигляді води немає в наявності з технічних причин, то працюючих слід забезпечують питною кип'яченою водою. Розміщення питних установок показані на листі креслення 10.

Всім працюючим видається спецодяг, спецвзуття, захисні каски, рукавиці. Робітники, що працюють у запиленних приміщеннях мають респіратори. При роботі на висоті робітникам видаються запобіжні пояси. Також забезпечується захист робітників від протягу, шкідливих випаровувань, газів.

На території будмайданчика влаштовані вказівники проходів та проїздів, а в темний період доби будівельний майданчик забезпечений електроосвітленням (лист креслення 10).

Земляні роботи

Земляні роботи повинні бути максимально механізовані. Перед їх початком встановлюють знаки, що показують розміщення підземних комунікацій.

Із наближенням до лінії цих комунікацій земляні роботи проводять під наглядом виконавця робіт, а якщо це електрокабелі, то і в присутності працівників електрогосподарства. Грунт у таких місцях розробляють землекопними лопатами, обережно, без ударів. Не можна користуватись ломом і кирками.

До початку проведення земляних робіт відводять поверхневі та ґрунтові води, відкачують або влаштовують дренажі. Вибраний із виїмки ґрунт розміщують не ближче, ніж за 0.5м від верхньої бровки котлованів. Для спускання і піднімання робітників у широких виїмках встановлюють драбини завширшки не менш як 0,6м з поручнями заввишки 1м і бортовою дошкою заввишки 15см, а для вузьких траншей застосовують приставні драбини. Спускання робітників по розпірках кріплень заборонено. Всі виїмки треба огороджувати на відстані 1м від бровки, а вночі освітлювати, на огорожах треба встановити попереджувальні знаки і написи.

Для переходу через траншеї будують містки завширшки 0,6м з поручнями заввишки 1м, бортовою дошкою і освітленням.

Під час перевірки в роботі стрілу екскаватора потрібно відвести в сторону від забою, а ківш опустити на ґрунт. Під час руху екскаватора ківш встановлюють за напрямком руху і піднімають його на висоту 0,5 – 0,7 м. Пересування екскаватора з наповненим ковшем забороняється. Завантаження автосамоскидів екскаватором повинно виконуватись через задню або бокову сторону кузова, і ні в якому разі ківш не може подаватися через кабіну водія. Забороняється перебування людей між екскаватором і автосамоскидом під час навантаження.

Для запобігання обвалу ґрунту котлован копається з відкосом 1:0,85 відповідно до інженерно-геологічних умов району будівництва. Не допускається стоянка і рух машин і обладнання, а також розміщення матеріалів і конструкцій в межах призми обвалу ґрунту.

Бетонні роботи

Робітників, які виконують бетонні роботи, забезпечують спецодягом, окулярами і респіраторами. Виконуючи роботи, пов'язані із заготовкою арматури, місця для її розташування та виправлення обгороджують.

Конструкції опалубки для вкладання арматури і бетонної суміші у монолітні конструкції будівель повинні бути надійними. Опалубні роботи складаються із встановлення підтримувальних риштувань, виготовлення опалубки та її монтажу. Опалубку, підтримувальні риштування, а також робочі настили виконують відповідно до робочих креслень (7).

При виробництві арматурних робіт забороняється:

- перебувати на остаточно не закріплених арматурно-опалубних блоках;
- залишати в конструкціях не закріплені арматурні елементи;
- проводити будь-які роботи на висоті, стоячи на арматурних хомутах або на стрижнях конструкції і переміщатися по них.

Опалубку з готових елементів збирають так, щоб під час подання монтажним механізмом наступного елемента не пошкоджувались раніше встановленні конструкції чи їхні частини. При встановленні елементів опалубки в кілька ярусів,

кожний наступний ярус слід установити після закріплення нижнього. Перед бетонуванням конструкції кожної зміни перевіряють стан опалубки, помостів огорож і драбин. Виявлені недоліки ліквідовують до початку виконання робіт.

Розбирати опалубку можна після того, як бетон набере необхідної міцності. Для цього повинні бути відсутні навантаження і дефекти у роботі, а також вжиті заходи проти падіння елементів опалубки і обвалення риштувань.

При ущільненні бетонної суміші електровібраторами перевіряють їхню надійність і вживають заходів щодо захисту від ураження електричним струмом. Під час роботи потрібно стежити за надійністю кріплення самого вібратора. Не можна проводити з вібратором, який працює, будь-які операції. Переміщують його тільки за допомогою гнучких тяг. Вібратори виключають через кожні 30-35хв для охолодження, а також під час перерв чи при переході на інше місце роботи.

Монтажні роботи

Для проектного об'єкта громадської будівлі прийняли кран СКГ30/7,5. Безпечне ведення монтажних робіт передбачено при розробці технологічних карт на виконання робіт (листи креслень 7, 8), в яких особливу увагу надано методу монтажних робіт, технологічності послідовності монтажних операцій, обладнання робочих місць монтажників, розробці строповочних і захватних пристроїв та монтажних засобів.

Для підйому і установки вантажів в основному застосовують універсальні і полегшені стропи, які періодично проходять перевірку на міцність. Вантажний канат крана перед підйомом повинен перебувати у вертикальному положенні над центром ваги вантажу. Підтягувати вантаж канатом, що знаходиться під косим кутом, забороняється. При необхідності положення центру ваги встановлюють шляхом пробних підвішувань. Для забезпечення безпечних умов праці при підйомі і розкладці будівельних матеріалів їх стропування виконують за допомогою траверси. Стropи знімають з встановлених елементів каркасу і блоків тільки після їх закріплення. Забороняється вантажі залишати у висячому положенні.

Проектом передбачено рішення питань безпечної роботи крана відносно будівлі, яка зводиться. До початку робіт на будівельному майданчику

облаштовуються підїзні шляхи і тимчасові дороги. Ширина доріг – 6 м, радіус закруглення – 12 м (лист 10). При трасуванні доріг повинні виконуватись наступні вимоги по дотриманню мінімальних відстаней:

- між дорогою і складським майданчиком: 0,5 – 1 м;
- між парканом будмайданчика і дорогою - 2 м;

На майданчику позначаються монтажна і небезпечна зони роботи крана (лист 10).

На період будівництва для забезпечення пожежної безпеки передбачені пожежні гідранти, які знаходяться на відстані 0,5 м. від тимчасової дороги.

Оздоблювальні роботи

Засоби підмоцнування, риштування, які застосовуються для малярних робіт, у місцях, під якими ведуться інші роботи чи є проходи, повинні мати настил без зазорів (лист 8).

Для просушування приміщень будівлі при неможливості використання систем опалення, застосовують повітрянагрівачі.

Малярні склади готують централізовано у приміщеннях, розташованих на будівельному майданчику і обладнаних вентиляцією, водою.

Тару з вибухонебезпечних матеріалів (лаки, фарби) під час перерв у роботі необхідно закривати кришками і відкривати інструментом, що не викликає іскроутворення.

Забороняється застосування розчинників, на які немає сертифікатів, де вказано характер шкідливих речовин.

Місце, над яким виконуються склярські роботи, необхідно огороджувати, і до початку робіт перевірити міцність і справність віконних рам.

Піднімання і перенесення скла до місця його встановлення виконують за допомогою відповідних безпечних пристроїв, або в спеціальній тарі.

Покрівельні роботи

Допуск робочих до виконання покрівельних робіт дозволяється після огляду майстром або прорабом спільно з бригадиром справності несучих конструкцій покриття.

Для переходу робочих, що виконують роботи на покрівлі, встановити трапи шириною не менше 0,5 м. Трапи на час роботи повинні бути закріплені.

Під час перерв технологічний інструмент та будівельні матеріали повинні бути забрані з покрівлі.

Електрозварювальні роботи

Пред виконанням зварювальних робіт робітники повинні пройти цільовий інструктаж безпосередньо на робочому місці. При електрозварюванні арматури необхідно перевірити справність електрозварювального апарату, ізоляцію його корпусу і надійність заземлення, відсутність легкозаймистих речовин на відстані до 5 м від місця зварювання. Провід, яким під'єднують зварювальний агрегат до мережі, щоб уникнути механічного пошкодження поміщають в гумовий шланг. Довжина проводів не повинна перевищувати 15 м.

Місця електрозварювальних робіт на даному, а також нижче розташованому ярусах, повинні бути звільнені від горючих матеріалів у радіусі не менше 5м, а від вибухонебезпечних матеріалів – не менше 10м.

При різці конструкцій та їх елементів приймаються заходи, направлені проти випадкового обвалу відрізаних елементів.

Виконувати зварювання, різання, нагрів відкритим полум'ям апаратів, трубопроводів, що утримують під тиском будь-які рідини чи газу, заповненні горючими речовинами, не допускається без узгодження з експлуатаційною організацією заходів із забезпечення безпеки.

Робочі місця зварювальників у приміщенні при зварюванні відкритою дугою відділяються від інших робочих місць і проходів екранами висотою до 1,8м.

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

4.5. Аналіз надзвичайних ситуацій, що можуть виникнути

Надзвичайна ситуація (НС) - це порушення нормальних умов життя та діяльності людей на об'єкті чи території, спричинених аварією, катастрофою, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, великою пожежею, використання засобів

ураження, що призвели чи можуть призвести до людських чи матеріальних втрат.

На будівництві щороку виникають тисячі надзвичайно складних ситуацій природного та техногенного характеру, внаслідок яких гине велика кількість людей, а матеріальні збитки сягають кількох мільярдів гривень. Сьогоднішня ситуація щодо небезпечних природних явищ, аварій і катастроф характеризується як дуже складна. Тенденція зростання кількості природних і особливо техногенних НС, складність цих наслідків змушують розглядати їх як серйозну загрозу безпеці окремої людини, суспільству та навколишньому середовищу, а також стабільності розвитку економіки країни. Для роботи в районі надзвичайної ситуації потрібно залучати значну кількість людських, матеріальних і технічних ресурсів.

Запобігання надзвичайним ситуаціям, ліквідація їх наслідків, максимальне зниження масштабів втрат та збитків перетворилося на загальнодержавну проблему і є одним з найважливіших завдань органів виконавчої влади і управління всіх рівнів.

Надзвичайні ситуації, що можуть виникнути

Відповідно до географічного розміщення району будівництва можуть виникнути наступні НС: сильний вітер, хуртовини, підтоплення, замикання електромережі, пожежі.

З метою недопущення загибелі людей, забезпечення їх нормальної життєдіяльності у надзвичайні ситуації передусім повинно бути проведено сповіщення населення про можливу загрозу, а якщо необхідно, – організовано евакуацію. Ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій проводиться з метою відновлення роботи. Вона включає:

- розвідку осередків надзвичайних ситуацій;
- аварійно-рятувальні й лікувально-евакуаційні заходи;
- локалізацію й гасіння пожеж;
- відбудову споруд і шляхів сполучення;

Надзвичайні ситуації, що можуть виникнути на будівельному майданчику і дії робітників в разі їх виникнення:

Пожежа. При виникненні пожежі необхідно: евакуювати людей,

зателефонувати в пожежну службу, застосувати первинні засоби пожежогасіння із пожежних щитів. Для гасіння пожежі використовувати воду із пожежних гідрантів (див будгенплан).

Ураження електричним струмом. При ураженні робітника електричним струмом необхідно надати йому першу медичну допомогу та викликати швидку медичну допомогу.

Сильний вітер. Якщо швидкість вітру перевищує 15 м/с забороняється: робота кранів та інших вантажопідійомних механізмів; будь-яка робота на висоті; робота з легкими матеріалами, що мають значну площу (фанера, пінопласт).

Падіння вантажів з висоти, у тому числі крана. Небезпечні зони позначені знаками безпеки і написами встановленої форми; границі небезпечних зон поблизу рухомих частин і робочих органів машин визначають відстанню у межах 5м.

На будгенплані небезпечна зона роботи крану виділена штрихпунктирною лінією із прапорцями, а на місцевості встановлюють сталеві обгороджування.

4.6. Розробка заходів і дій при виникненні надзвичайних ситуацій

Виконання долікарської допомоги у надзвичайних ситуаціях та при нещасних випадках

На будівництві при недотриманні техніки безпеки можливі падіння з висоти, опіки, ураження електричним струмом. Найбільш характерними травмами при цьому є: переломи кісток, хребта, тазу, черепа, нижніх кінцівок (приземлення на ноги), ребер, верхніх кінцівок (приземлення на бік і на спину). Одночасно з кістковою травмою можуть бути важкі закриті ушкодження внутрішніх органів, ще супроводжуються кровотечами (розрив аорти, печінки, відрив жовчного міхура, розривселезінки і т.д.).

При переломах потерпілому необхідно забезпечити спокій і нерухомість пошкодженої кістки. Це зменшить біль, яка може бути причиною шоку і попередить можливі ускладнення за рахунок вторинного поранення кровоносних судин і м'яких тканин. При відкритих переломах на рану спочатку накладають пов'язку.

Одяг і взуття при переломах знімають, для цього їх іноді розрізають по швам.

Імобілізацію поламаної кінцівки як правило проводять за допомогою стандартних шин які накладають на зовнішню і внутрішню поверхні. Шини повинні обов'язково захвачувати два сусідніх суглоба між якими знаходиться ушкоджена кістка.

Якщо сталося падіння з великої висоти і у потерпілого болить спина (травма хребта), його краще не чіпати, а негайно викликати "Швидку". Якщо необхідно потерпілого пересунути або оглянути, то його обов'язково потрібно укласти на тверду рівну поверхню (щит або землю). Не можна переносити його на руках або на ковдрі! Це може погіршити його стан.

При переломі хребта необхідно під спину дуже обережно підкласти дошку або перевернути потерпілого обличчям вниз. Заборонено допускати перегин тулуба, оскільки це може призвести до пошкодження спинного мозку.

Падіння та удари часто супроводжуються важкими пошкодженнями черепа та струсом мозку. Ознакою черепної травми є кровотеча з вух та блювання. Ознакою струсу мозку є головний біль, нудота, блювання, втрата свідомості. Потерпілого необхідно покласти на спину, накласти на голову пов'язку, прикласти до голови холодну примочку. До прибуття лікаря потерпілому необхідно забезпечити повний спокій.

Перелом і вивих ключиці супроводжується різким болем, який посилюється при русі плечового суглоба. Необхідно в під-мишечну впадину покласти тампон м'якої тканини або вати і прибинтувати зігнутою під прямим кутом руку до тулуба.

Допомога при опіках, обмерзаннях. В осередках ураження внаслідок надзвичайних ситуацій велика кількість уражених може отримати опіки, обмерзання, шок, втратити свідомість.

Надання першої медичної допомоги складає, поперед усього, у гасінні одягу на потерпілому (облити водою, а якщо її нема, накинути на потерпілого ковдру, піджак або пальто та інші, щоби закінчити доступ кисню). Потім частину тіла, яка має опіки, звільнити від одягу. Якщо потрібно, одяг розрізають, частини одягу, які пристали до тіла, не зривають, а обрізають навколо і залишають на місці. Зрізати і

розривати пухирі неможна. При значних опіках після зняття одягу потерпілого краще всього завернути чистою білизною, прийняти заходи проти шоку і направити в лікувальний заклад.

При опіках окремих частин тіла шкіру навколо опіку необхідно протерти спиртом, одеколоном, водою, а на місце опіку накласти суху стерильну пов'язку. Змазувати поверхню опіку жиром або якою-небудь маззю не потрібно.

При невеликих опіках I ступеню на почервонілу шкіру необхідно накласти марлеву салфетку, змочену спиртом. При опіках II, а тим паче III і IV ступеню потерпілого, після надання йому першої допомоги, необхідно терміново відправити у лікувальний заклад. Перша медична допомога при опіках від світового випромінювання оказується так, як і при звичайних опіках.

При великих опіках часто розвивається шок. При таких опіках обов'язково проводять протишовкові заходи. Потім для боротьби з інфекціями використовують антибіотики (протибактеріальний засіб №1 із аптечки АІ-2, біоміцин, пеніцилін та інші). Всім потерпілим необхідно у великій кількості давати пиття - 4-5 л у перші дві доби. Для цього приготують підсолену воду (1-0,5 чайної ложки повареної солі і стільки харчової соди на 1 л води), дають її теплою або гарячою невеликими порціями.

При низькій температурі може настати пошкодження тканин. Залежно від пошкодження розрізняють: примерзання, обмороження, замерзання. Ці пошкодження виникають в результаті одноразової чи багаторазової дії низької температури на органи людини, особливо в сиру, холодну погоду.

Примерзання виявляються у вигляді синьо-багрових плям, що набувають фіолетового відтінку. Допомога полягає в змазуванні йодною настоянкою ураженої ділянки та накладанні зігрівального компресу.

Обмороження першого ступеня характеризується почервонінням з відтінком синюшності, набряклістю шкіри, жаром у тілі і болем. Допомога - розтерти побілілу ділянку чистим сукном чи хустинкою змоченою у горілці, спирті, одеколоні, змазати жиром та накласти пов'язку.

При обмороженні другого ступеня шкіра має багровий колір з пухирями.

Допомога - накладання сухої стерильної пов'язки, розтирання заборонено.

При обмороженні третього і четвертого ступеня настає відносно поверхнєве та глибинне омертвіння тканини. Необхідна термінова медична допомога.

Перша долікарська допомога при пораненнях повинна забезпечувати зупинку кровотечі, закриття рани пов'язкою, нерухомість (імобілізацію) для забезпечення спокійного положення пошкодженої частини тіла.

Найбільш швидко зупинити кровотечу можна за допомогою пальцевого притискування кровоносної судини до прилеглої кістки. Сильну артеріальну кровотечу із ран на кінцівках зупиняють накладанням вище рани джгута або закрутки. Пальцеве притискування при цьому використовується тільки як допоміжний спосіб при накладанні джгута (закрутки) або при його перекладанні.

Джгут можна використовувати гумовий або із тканини, які знаходяться в аптечці. Перед накладанням такого джгута під нього обов'язково підкладається м'яка підстилка із ткани, вати або марлі..

При відсутності джгута можна використовувати підручні засоби (віршовка, косинка, бинт та інше), за допомогою яких накладається закрутка. Необхідно особливо підкреслити те, що джгут або закрутка накладається не більше ніж на 1,5-2 г, а у холодний час і при променевих (радіаційних) ураженнях - не більше як на 1 г, інакше може виникнути омертвіння кінцівки. Час накладання джгута або закрутки обов'язково повинен бути відмічений на папірці, який підкладають під джгут (закрутку), або на самій пов'язці.

Якщо з моменту накладання джгута або закрутки пройшло більше 1-2 годин, то необхідно послабити джгут (закрутку) - до появи рожевого кольору кінцівки і відновлення чутливості. Роблять це повільно, з тим щоби у випадку відновлення кровотечі тік крові не виштовхнув кров'яний згусток, який появився у рані. Опісля 5-10 хвилин після повного розслаблення джгута (закрутки) і не відновлювання кровотечі можна рахувати його зупиненим

Для захисту рани від можливого ураження бактеріями, отруйними або радіоактивними речовинами на неї потрібно накласти пов'язку. З метою боротьби

з інфекцією раненим дають протибактеріальний засіб № 1 із аптечки АІ – 2-5 таблеток, які запиваються водою, і через 6 годин ще 5 таблеток

Засоби першої долікарської допомоги знаходяться в аптечці А-І, розміщеної в санітарному приміщенні.

При ураженні електричним струмом необхідно якомога швидше звільнити потерпілого від струмопровідних частин обладнання. При цьому відключають струм, використовуючи палицю, сухі рукавиці, сухий одяг, діелектричні рукавиці. Провідники перерізають інструментом з ізольованими ручками, перерубують сокирою.

Уразі відсутності дихання необхідно провести непрямий масаж серця, або штучне дихання.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ковальчук Я. О. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” / Я. О. Ковальчук, Г. М. Крамар, О. М. Мещерякова. - Тернопіль : ТНТУ, 2020. – 56 с.
2. ДБН В.2.2-9-2019 Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення.
3. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи К.: Мінбуд України, 2006.
4. ДБН В.1.17-2016 Пожежна безпека об’єктів будівництва. – К.: Держбуд України, 2003.
5. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
6. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція будівель та енергоефективність.
7. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011.
8. ДСТУ Б В.2.1-2-96. Ґрунти. Класифікація. – К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1995.
9. ДБН А.2.1–1-2008 Інженерні вишукування для будівництва. Основні положення. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2008.
10. ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування.
11. Malezhyk, M.P., Pidhurs’kyi, M.I., Rudyak, Y.A., Pidhurs’kyi, I.M. & Voitovych, L.V. (2019) Investigation of the Fracture of an Orthotropic Plate with Circular Hole and Two Edge Cracks Under Pulsed Loading by the Method of Dynamic Photoelasticity. *Materials Science*, 55(2). P. 254-258. (SCOPUS)
12. Pidgurskyi I. Analysis of stress intensity factors obtained with the fem for surface semielliptical cracks in the zones of structural stress concentrators // *Scientific Journal of TNTU*. - Ternopil: TNTU, 2018. - Vol. 90. - No 2. - P. 92-104. (Index Copernicus, Google Scholar)

13. Yasniy, P.V., Mykhailyshyn, M.S., Pyndus, Y.I. et al. Numerical Analysis of Natural Vibrations of Cylindrical Shells Made of Aluminum Alloy. *Mater Sci* 55, 502–508 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00331-2>
14. Ковальчук Я. Теплоізоляційні будівельні матеріали з місцевих технологічних відходів / Я. Ковальчук, Г. Крамар, Л. Бодрова, І. Коваль, С. Мариненко // Наукові нотатки. - 2019. - Вип. 66. - С. 165-171.
15. Гомон, С., Матвіюк, О., Кулаковський, Л., & Черномаз, Н. (2022). ДО ПОБУДОВИ ПОВНИХ ДІАГРАМ ДЕФОРМУВАННЯ ДЕРЕВИНИ ВІЛЬХИ ТА ЯЛИНИ ЗА СТАНДАРТНОЇ ВОЛОГОСТІ. Містобудування та територіальне планування, (79), 87-92.
16. Ясній П.В., Гомон Св. Св. Динаміка зміни критичних деформацій деревини з різним показником вологості. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2021. Вип 40. С. 234 -241
17. Гомон, С. С., Гомон, С. С., Савицький, В. В., & Черномаз, Н. Ю. (2021). Методика визначення початкового модуля пружності та модуля деформацій деревини різного віку. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, (40), 121-128.
18. Дзьоба, В., Стасюк, О., Данильченко, С. М., & Черномаз, Н. Ю. (2022). Дослідження роботи комбінованого каркасу із залізобетону та дерева багатоповерхової житлової будівлі при дії вітрового навантаження. Праці конференції Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої 70-річчю від дня народження член-кореспондента НАН України, проф. Ясеня Петра Володимировича „Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій“, 49-50.
19. Розрахунки і проектування спеціальних будівель і споруд: Навчальний посібник/ Фомиця Л.М., Артеменко А.К., Мамін О.М., Височин І.А. // Під редак. Л.М.Фомиці.- К: Урожай.- 1994.
20. Залізобетонні конструкції. Навчальний посібник / Вахненко П.Ф., Павліков А.М., Горик О.В., Вахненко В.П.// К: Вища школа, 1999.
21. Зоценко М.Л., Коваленко В.І., Хілобок В.Г. Яковлев А.В. Інженерна

геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти. -К.:Вища шк.,1992.- 408 с.

22. ДСТУ-П OHSAS 18002: 2006 Системи управління безпекою та гігієною праці. Основні принципи виконання вимог (OHSAS 18002:2000, IDT).

23. ДБН А.3.2-2-2009 "Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення"

24. ДСТУ 2293–99 Охорона праці. Терміни та визначення основних понять.

25. ДСТУ Б А.3.2-15:2011 Норми освітлення будівельних майданчиків

26. ДСТУ Б В.2.8-43:2011 Огородження інвентарні будівельних майданчиків та ділянок виконання будівельно-монтажних робіт. Технічні умови

27. НПАОП 0.00-6.23–92 Про порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці

28. НПАОП 0.00-4.12–05 Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.

29. Методичні вказівки для написання розділу дипломного проекту з дисципліни «Охорона праці в галузі» / В. Б. Каспрук. - Тернопіль: ТНТУ, 2017. – 14 с

30. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.

31. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

ДОДАТОК А
РОЗРАХУНОК СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ
Колона

НОРМЫ: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
ТИП РАСЧЕТА: Проверка стержней

ГРУППА:

СТЕРЖЕНЬ: 714

ТОЧКА: 1

КООРДИНАТА: $x = 0.00$ $L =$

0.00 м

НАГРУЗКИ:

Невыгодное нагружение: 4 COMB1 1*1.00+2*1.10

МАТЕРИАЛ:

Steel (Steel) $f_y = 235000.00$ кПа



ПАРАМЕТРЫ СЕЧЕНИЯ: HEA 320

$h=31.0$ см

$gM_0=1.00$

$gM_1=1.00$

$b=30.0$ см

$A_y=104.12$ см²

$A_z=41.13$ см²

$A_x=124.37$ см²

$tw=0.9$ см

$I_y=22928.60$ см⁴

$I_z=6985.24$ см⁴

$I_x=102.00$ см⁴

$tf=1.6$ см

$W_{ply}=1628.23$ см³

$W_{plz}=709.75$ см³

ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ:

$N_{,Ed} = 27.89$ кН

$M_{z,Ed} = 0.39$ кН*м

$V_{y,Ed} = 0.04$ кН

$N_{c,Rd} = 2922.65$ кН

$M_{z,Ed,max} = 0.39$ кН*м

$V_{y,c,Rd} = 1412.65$ кН

$N_{b,Rd} = 927.03$ кН

$M_{z,c,Rd} = 166.79$ кН*м

$M_{N,z,Rd} = 166.79$ кН*м

Класс сечения = 1



ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ:

ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВОСТИ:



Относительно оси y:

$$L_y = 10.50 \text{ м} \quad \lambda_{m_y} = 0.82$$

$$L_{cr,y} = 10.50 \text{ м} \quad \chi_y = 0.71$$

$$\lambda_{m_y} = 77.33 \quad k_{yz} = 0.56$$



Относительно оси z:

$$L_z = 10.50 \text{ м} \quad \lambda_{m_z} = 1.49$$

$$L_{cr,z} = 10.50 \text{ м} \quad \chi_z = 0.32$$

$$\lambda_{m_z} = 140.10 \quad k_{zz} = 0.79$$

ПРОВЕРОЧНЫЕ ФОРМУЛЫ:**Проверка прочности сечения:**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

Проверка общей устойчивости элемента:

$$\lambda_{m,y} = 77.33 < \lambda_{m,max} = 210.00 \quad \lambda_{m,z} = 140.10 < \lambda_{m,max} = 210.00 \quad \text{УСТОЙЧИВЫЙ}$$

$$N_{Ed}/(\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/\gamma_{M1}) = 0.01 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/\gamma_{M1}) = 0.03 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Сечение подобрано правильно !!!**РОЗРАХУНОК СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Нижній пояс ферми

НОРМЫ: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.**ТИП РАСЧЕТА:** Проверка стержней**ГРУППА:****СТЕРЖЕНЬ:** 8**ТОЧКА:** 2**КООРДИНАТА:** $x = 0.82 L =$

18.07 м

НАГРУЗКИ:

Невыгодное нагружение: 4 COMB1 1*1.00+2*1.10

МАТЕРИАЛ:Steel (Steel) $f_y = 235000.00$ кПа**ПАРАМЕТРЫ СЕЧЕНИЯ:** T_Г 140x140x6

$$h = 14.0 \text{ см}$$

$$g_{M0} = 1.00$$

$$g_{M1} = 1.00$$

$b=14.0$ см	$A_y=15.62$ см ²	$A_z=15.62$ см ²	$A_x=31.23$ см ²
$t_w=0.6$ см	$I_y=920.00$ см ⁴	$I_z=920.00$ см ⁴	$I_x=1447.52$ см ⁴
$t_f=0.6$ см	$W_{ply}=155.33$ см ³	$W_{plz}=155.33$ см ³	

ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ:

$N_{,Ed} = -66.38$ кН	$M_{y,Ed} = -0.47$ кН*м	
$N_{t,Rd} = 733.91$ кН	$M_{y,pl,Rd} = 36.50$ кН*м	
	$M_{y,c,Rd} = 36.50$ кН*м	$V_{z,Ed} = -0.07$ кН
	$M_{N,y,Rd} = 36.50$ кН*м	$V_{z,c,Rd} = 211.86$ кН
		Класс сечения = 1



ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ:

ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВОСТИ:



Относительно оси y:



Относительно оси z:

ПРОВЕРОЧНЫЕ ФОРМУЛЫ:

Проверка прочности сечения:

$N_{,Ed}/N_{t,Rd} = 0.09 < 1.00$	(6.2.3.(1))
$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.01 < 1.00$	(6.2.5.(1))
$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.00 < 1.00$	(6.2.6.(1))

Сечение подобрано правильно !!!

РОЗРАХУНОК СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТИВ

Верхній пояс ферми

НОРМЫ: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*

ТИП РАСЧЕТА: Проверка стержней

ГРУППА:

СТЕРЖЕНЬ: 9
1.61 м

ТОЧКА: 1

КООРДИНАТА: $x = 0.14 L =$

НАГРУЗКИ:

Невыгодное нагружение: 4 COMB1 1*1.00+2*1.10

МАТЕРИАЛ:

Steel (Steel) $f_y = 235000.00$ кПа



ПАРАМЕТРЫ СЕЧЕНИЯ: T_г 140x140x6

$h=14.0$ см	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=14.0$ см	$A_y=15.62$ см ²	$A_z=15.62$ см ²	$A_x=31.23$ см ²
$tw=0.6$ см	$I_y=920.00$ см ⁴	$I_z=920.00$ см ⁴	$I_x=1447.52$ см ⁴
$tf=0.6$ см	$W_{ply}=155.33$ см ³	$W_{plz}=155.33$ см ³	

ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ:

$N_{,Ed} = 67.68$ кН $M_{y,Ed} = 1.75$ кН*м

$N_{c,Rd} = 733.91$ кН $M_{y,Ed,max} = 1.75$ кН*м

$N_{b,Rd} = 135.50$ кН

$M_{y,c,Rd} = 36.50$ кН*м

$V_{z,Ed} = -$

0.19 кН

$MN_{,y,Rd} = 36.50$ кН*м

$V_{z,c,Rd} = 211.86$ кН

Класс сечения = 1



ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ:

ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВОСТИ:



Относительно оси y:

$L_y = 11.28$ м $\lambda_{m,y} = 2.21$

$L_{cr,y} = 11.28$ м $\chi_y = 0.18$

$\lambda_{my} = 207.84$ $k_{yy} = 1.27$



Относительно оси z:

$L_z = 11.28$ м $\lambda_{m,z} = 2.21$

$L_{cr,z} = 11.28$ м $\chi_z = 0.18$

$\lambda_{mz} = 207.84$ $k_{zy} = 1.27$

ПРОВЕРОЧНЫЕ ФОРМУЛЫ:

Проверка прочности сечения:

$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.09 < 1.00$ (6.2.4.(1))

$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.05 < 1.00$ (6.2.5.(1))

$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.6.(1))

Проверка общей устойчивости элемента:

$\lambda_{m,y} = 207.84 < \lambda_{m,max} = 210.00$

$\lambda_{m,z} = 207.84 < \lambda_{m,max} =$

210.00 УСТОЙЧИВЫЙ

$N_{,Ed}/(\chi_y * N_{,Rk}/gM1) + k_{yy} * M_{y,Ed,max}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) = 0.56 < 1.00$

(6.3.3.(4))

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) = 0.56 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Сечение подобрано правильно !!!

РОЗРАХУНОК СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Стойка ферми

НОРМЫ: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ТИП РАСЧЕТА: Проверка стержней

ГРУППА:

СТЕРЖЕНЬ: 29

ТОЧКА: 3

КООРДИНАТА: $x = 1.00 L =$

2.50 м

НАГРУЗКИ:

Невыгодное нагружение: 4 COMB1 1*1.00+2*1.10

МАТЕРИАЛ:

Steel (Steel) $f_y = 235000.00$ кПа



ПАРАМЕТРЫ СЕЧЕНИЯ: T_г 60x60x4

$h=6.0$ см

$g_{M0}=1.00$

$g_{M1}=1.00$

$b=6.0$ см

$A_y=4.27$ см²

$A_z=4.27$ см²

$A_x=8.55$ см²

$t_w=0.4$ см

$I_y=43.50$ см⁴

$I_z=43.50$ см⁴

$I_x=70.72$ см⁴

$t_f=0.4$ см

$W_{ply}=17.64$ см³

$W_{plz}=17.64$ см³

ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ:

$N_{Ed} = -16.04$ кН

$N_{t,Rd} = 200.93$ кН

Класс сечения = 1



ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ:

ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВОСТИ:



Относительно оси у:



Относительно оси z:

ПРОВЕРОЧНЫЕ ФОРМУЛЫ:*Проверка прочности сечения:*

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.08 < 1.00 \quad (6.2.3.(1))$$

*Сечение подобрано правильно !!!***РОЗРАХУНОК СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Розкіс ферми

НОРМЫ: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.**ТИП РАСЧЕТА:** Проверка стержней**ГРУППА:****СТЕРЖЕНЬ:** 22
1.33 м**ТОЧКА:** 2**КООРДИНАТА:** $x = 0.50 L =$ **НАГРУЗКИ:***Невыгодное нагружение:* 4 COMB1 1*1.00+2*1.10**МАТЕРИАЛ:**Steel (Steel) $f_y = 235000.00$ кПа**ПАРАМЕТРЫ СЕЧЕНИЯ: T_г 80x40x4**

h=8.0 см

gM0=1.00

gM1=1.00

b=4.0 см

Ay=2.85 см²Az=5.70 см²Ax=8.55 см²

tw=0.4 см

Iy=64.77 см⁴Iz=21.42 см⁴Ix=53.95 см⁴

tf=0.4 см

Wply=20.91 см³Wplz=12.77 см³**ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ:**N_{Ed} = 8.94 кН $M_{y,Ed} = 0.03$ кН*мN_{c,Rd} = 200.93 кН $M_{y,Ed,max} = 0.03$ кН*мN_{b,Rd} = 54.98 кН $M_{y,c,Rd} = 4.91$ кН*м

$$MN_{y,Rd} = 4.91 \text{ кН*м}$$

Класс сечения = 1



ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ:

ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВОСТИ:



Относительно оси y:

$$L_y = 2.66 \text{ м}$$

$$\lambda_{m,y} = 1.03$$

$$L_{cr,y} = 2.66 \text{ м}$$

$$\chi_y = 0.65$$

$$\lambda_{my} = 96.55$$

$$k_{yy} = 1.09$$



Относительно оси z:

$$L_z = 2.66 \text{ м}$$

$$\lambda_{m,z} = 1.79$$

$$L_{cr,z} = 2.66 \text{ м}$$

$$\chi_z = 0.27$$

$$\lambda_{mz} = 167.89$$

$$k_{zy} = 0.68$$

ПРОВЕРОЧНЫЕ ФОРМУЛЫ:

Проверка прочности сечения:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.04 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

Проверка общей устойчивости элемента:

$$\lambda_{m,y} = 96.55 < \lambda_{m,max} = 210.00 \quad \lambda_{m,z} = 167.89 < \lambda_{m,max} = 210.00 \quad \text{УСТОЙЧИВЫЙ}$$

$$N_{Ed}/(\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) = 0.08 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) = 0.17 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Сечение подобрано правильно !!!

РОЗРАХУНОК СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Прогон

НОРМЫ: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ТИП РАСЧЕТА: Проверка стержней

ГРУППА:

СТЕРЖЕНЬ: 103

ТОЧКА: 2

КООРДИНАТА: $x = 0.50 L =$

3.00 м

НАГРУЗКИ:

Невыгодное нагружение: 1 Власна вага

МАТЕРИАЛ:Steel (Steel) $f_y = 235000.00$ кПа**ПАРАМЕТРЫ СЕЧЕНИЯ: Ш 18**

$h=18.0$ см	$g_{M0}=1.00$	$g_{M1}=1.00$	
$b=7.0$ см	$A_y=13.33$ см ²	$A_z=9.75$ см ²	$A_x=20.70$ см ²
$t_w=0.5$ см	$I_y=1090.00$ см ⁴	$I_z=86.00$ см ⁴	$I_x=3.72$ см ⁴
$t_f=0.9$ см	$W_{ply}=138.03$ см ³	$W_{plz}=39.95$ см ³	

ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ:

$$M_{y,Ed} = 0.72 \text{ кН*м}$$

$$M_{y,pl,Rd} = 32.44 \text{ кН*м}$$

$$M_{y,c,Rd} = 32.44 \text{ кН*м}$$

$$M_{b,Rd} = 9.87 \text{ кН*м}$$

$$\xi_{cr,nl} = 1$$

**ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ:**

$z = 1.00$	$M_{cr} = 12.43$ кН*м	$\xi_{cr,LT} = d$	$X_{LT} = 0.30$
$L_{cr,upp} = 6.00$ м	$\lambda_{m,LT} = 1.62$	$\xi_{i,LT} = 1.94$	$X_{LT,mod} = 0.30$

ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВОСТИ:

Относительно оси y:



Относительно оси z:

ПРОВЕРОЧНЫЕ ФОРМУЛЫ:**Проверка прочности сечения:**

$$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

Проверка общей устойчивости элемента:

$$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.07 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

Сечение подобрано правильно !!!