

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту Осейку Дмитру Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Оптимізація напружено-деформівного стану несучих конструкцій покриття та перекриття при дії статичних і динамічних навантажень»

Керівник роботи Ясній Володимир Петрович, д.т.н., доцент.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 15 » 04 2024 року № 4/7-346

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Розгляд існуючих попередньо напружених і регульованих за допомогою попереднього напруження будівельних конструкцій. Методологія вирішення задач регулювання НДС конструкцій. Вибір ефективного підкріплення плити шпренгелем. Регулювання напружено-деформованого стану будівельних конструкцій на прикладі комбінованої блок-ферми покриття за допомогою програмного комплексу

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б. доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О.М. ст.викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою досліджень		
2	Методологія вирішення задач регулювання НДС конструкцій.		
3	Методологія вирішення задач регулювання НДС конструкцій		
4	Вибір ефективного підкріплення плити шпренгелем.		
5	Регулювання напружено- деформованого стану будівельних конструкцій на прикладі комбінованої блок-ферми покриття		
6	Загальні висновки		

Студент

_____ (підпис)

Осейко Д. І.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Ясній В. П.

_____ (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 РОЗГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ І РЕГУЛЬОВАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОПЕРЕДНЬОГО НАПРУЖЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ	7
1.1 Основні ідеї та можливості попереднього напруження будівельних конструкцій	7
1.2 Огляд попередньо напружених конструкцій	8
1.3 Висновки до розділу 1	12
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ РЕГУЛЮВАННЯ НДС КОНСТРУКЦІЙ.....	13
2.1 Огляд чисельних методів будівельних конструкцій у програмних комплексах	14
2.2 Програмний комплекс ANSYS для дослідження НДС комбінованої блок-ферми покриття.....	18
2.3 Висновки до розділу 2.....	20
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ЕФЕКТИВНОГО ПІДКРІПЛЕННЯ ПЛИТИ ШПРЕНГЕЛЕМ	22
3.1 Розрахунок плити з різними варіантами шпренгеля	22
3.2 Розрахунок попередньо напруженої шпренгельної плити на статичні та динамічні навантаження	32
3.3 Регулювання комбінованої блок-ферми покриття.....	38
3.4 Висновки до розділу 3.....	46
РОЗДІЛ 4 РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ПРИКЛАДІ КОМБІНОВАНОЇ БЛОК-ФЕРМИ ПОКРИТТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ANSYS.....	47
4.1 Конструкції досліджуваної блок-ферми покриття.....	47
4.2 Скінченно-елементна модель комбінованої блок-ферми покриття в програмному комплексі ANSYS.....	49

4.3 Чисельне дослідження напружено-деформованого стану моделі комбінованої блок-ферми покриття шляхом попереднього напруження нижнього поясу.....	51
4.3.1 Статичний розрахунок стрижневої розрахункової схеми блок-ферми.....	52
4.3.2 Статичний розрахунок стрижневої розрахункової схеми блок-ферми з урахуванням геометричної нелінійності.....	55
4.4 Статичний розрахунок стрижневої розрахункової схеми блок-ферми з урахуванням геометричної нелінійності та попереднього напруження похилих елементів шпренгеля.....	59
4.5 Аналіз отриманих результатів.....	63
4.6 Висновок до розділу 4.....	63
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	64
5.1 Охорона праці.....	64
5.1.1 Інженерні рішення з охорони праці	64
5.1.2 Огородження території.....	66
5.1.3 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику	66
5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	68
5.2.1 Законодавча база України	68
5.2.2 Заходи при землетрусі	68
5.2.3 Системи сейсмосахисту будівель і споруд.....	69
5.3 Висновки до розділу 5	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	71
БІБЛІОГРАФІЯ	73

ВСТУП

У процесі свого становлення будівельні конструкції поліпшувалися, модернізувалися, винаходили новітні методи їх зведення. Одним із рубежів такого становлення, вважається регулювання напружено-деформівного стану (НДС) будівельних конструкцій. Одним зі способів регулювання НДС будівельних конструкцій є попереднє напруження їхніх елементів.

Регулюванням зусиль в таких елементах можливо домогтися якісно нових особливостей просторової роботи:

- збільшити ефективність роботи системи за рахунок раціональної конфігурації напруженого і деформованого стану;
- забезпечити стабільність експлуатаційних характеристик і збільшити надійність систем за рахунок розширення їхніх адаптивних якостей.

Мета роботи: моделювання напружено-деформованого стану комбінованої блок - ферми покриття та перекриття із застосуванням попередньо напружених елементів нижнього поясу при дії статичних і динамічних навантажень.

Об'єкт досліджень – просторова блок-ферма покриття.

Предмет дослідження – напружено-деформівний стан комбінованої блок - ферми покриття та перекриття із застосуванням попередньо напружених елементів нижнього поясу при дії статичних і динамічних навантажень.

Доцільність проведення досліджень зумовлена тим, що отримані результати дадуть можливість підвищити економічність покриттів та перекриттів громадських будівель.

Завдання роботи:

- виконати оцінку сучасного стану питання проектування попередньо напружених конструкцій і способів ефективного регулювання напружено-деформованого стану конструкцій, шляхом створення попереднього напруження;
- створити розрахункову схему просторової блок-ферми покриття, а також виконати статичний розрахунок стрижневої моделі в програмному комплексі SCAD;

- вибір типу шпренгеля для створення найбільш ефективного НДС плити;
- виконати чисельні дослідження з регулювання напружено-деформованого стану просторової блок-ферми покриття, використовуючи алгоритми регулювання конструкцій переднім напруженням елементів;
- аналіз отриманих результатів чисельних досліджень для подальшого проектування регульованих конструкцій.

Методи дослідження – чисельне дослідження з використанням алгоритму регулювання в програмних комплексах ANSYS і SCAD.

Галузю застосування результатів роботи є проектування нових, реконструкція та експлуатація існуючих громадських.

Наукова новизна отриманих - результати чисельних досліджень з регулювання напружено-деформованого стану просторової комбінованої блок-ферми покриття та перекриття на дію статичних і динамічних навантажень.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримала подальший розвиток методика моделювання напружено-деформівного стану комбінованої блок - ферми покриття та перекриття із застосуванням попередньо напружених елементів нижнього поясу при дії статичних і динамічних навантажень.

Апробація результатів магістерської роботи виконана роботи виконана на VII Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 25-26 квітня 2024 року.).

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: попереднє напруження, блок-ферма, напружено-деформівний стан.

РОЗДІЛ 1

РОЗГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ І РЕГУЛЬОВАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОПЕРЕДНЬОГО НАПРУЖЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Основні ідеї та можливості попереднього напруження будівельних конструкцій

У сучасному світі є доволі великий досвід із застосування та проектування площинних і просторових систем, у яких застосовують метод попереднього напруження.

Попереднє напруження і регулювання зусиль є потужним засобом підвищення ефективності будівельних конструкцій, зниження їхньої вартості та економії матеріалу.

Попереднє напруження можливо застосовувати в системах зі всіляких матеріалів, як-от металевих, залізобетонних, дерев'яних, різних розмірів і об'ємів: площинних, просторових, великопролітних. Більш ефективно застосовувати попереднє напруження в комбінованих (з різних матеріалів, або ж різної жорсткості) конструкціях, таких як вантові системи, шпренгельні ферми та ін.

Попередньо напружені металеві конструкції - це конструкції, в яких напруження від розрахункового навантаження складаються з додаткових напружень, штучно розроблених різними методами в період виготовлення, монтажу або ж експлуатації системи. На відміну від звичайних, де напруження з'являються лише тільки від розрахункового навантаження, у перерізах попередньо напружених конструкцій примусово формуються нові напруження або до роботи системи, або на етапі її роботи під навантаженням. При цьому напруження в найбільш завантажених перерізах мають найчастіше інший знак, ніж від навантаження.

Попередньо напружені залізобетонні конструкції - будівельні вироби, бетон яких на етапі створення примусово отримує початкову розрахункову напруженість стиснення [4].

Вона формується завдяки попередньому формуванню напруги розтягування в робочій високоміцній арматурі та обтисненню нею бетону на тих ділянках, які мають зазнавати розтягування (прогин) під час експлуатації. Стискаючись, арматура не прослизає, оскільки зчеплена з матеріалом або утримується анкерним закріпленням арматури на торцях виробів. Таким чином, напруга розтягування, якої набуває залізобетонний склад за допомогою армування, врівноважує напруженість завчасного обтиску каменю.

Використання попереднього напруження в будівельних конструкціях є одним із напрямів технічного прогресу, що забезпечує якісно вищий технічний рівень конструкцій [5].

1.2 Огляд попередньо напружених конструкцій

Ідеї використання будівельниками попереднього напруження відомі з давніх-давен. Ще в стародавні часи будівельники римських тріумфальних арок давали додаткове стискаюче навантаження на пілони, щоб погасити напруження, що розтягують, від розпору арок.

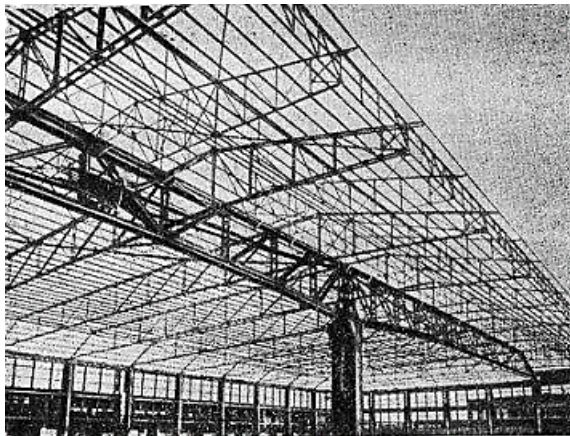
Створення напруженого стану в конструкції на стадії виготовлення, коли знак напруження в матеріалі протилежний знаку напружень від експлуатаційного навантаження, є одним із найбільших досягнень інженерної думки ХХ століття.

Застосування попереднього напруження відіграло велику роль у розвитку залізобетону. Воно створило якісно новий матеріал і дало змогу залізобетонним конструкціям знайти нові сфери застосування, істотно полегшило вагу конструкцій[6].

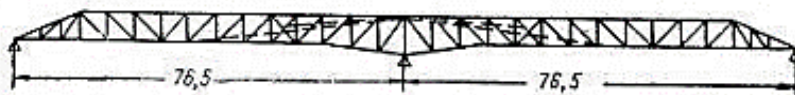
Застосування попереднього напруження також відкриває більше можливостей у підвищенні ефективності металевих конструкцій.

Одним із засновників теорії - застосування попереднього напруження в сталевих конструкціях є проф. Гентського університету (Бельгія) Г. Маньель. Він не тільки започаткував теорію, а й провів лабораторні випробування дослідних конструкцій і застосував попереднє напруження в реальному будівництві. За його

проектом і під його безпосереднім керівництвом побудовано попередньо напружені двопрогонові ферми великого ангара (рисунок 1.1). Він же провів випробування цієї ферми в натурних умовах[9].



а)



б)

а) загальний вигляд; б) схема.

Рисунок 1.1 - Двопролітна ферма

Головна двопролітна попередньо-напружена ферма з прольотами по 76,5 м підтримує однопролітні з консолями ферми розміром прольоту 49 м і консоллю 17 м. Головна ферма попередньо напружена чотирма нахиленими зтяжками, що з'єднують вузли в прольотах ферми із середньою опорою. Кожне зтягування складається з двох пучків високоміцного дроту діаметром 7 мм по 64 дроти в пучку. Економія металу склала 12% і вартості 6%.

Подальше дослідження в галузі попереднього напруження металевих конструкцій тривало і розвивалося завдяки розробкам вітчизняного ученого В.М Шимановського.

Одним із способів підсилення покриттів було застосування попередньо

натягнутих струн в легких арках(рис.1.2).

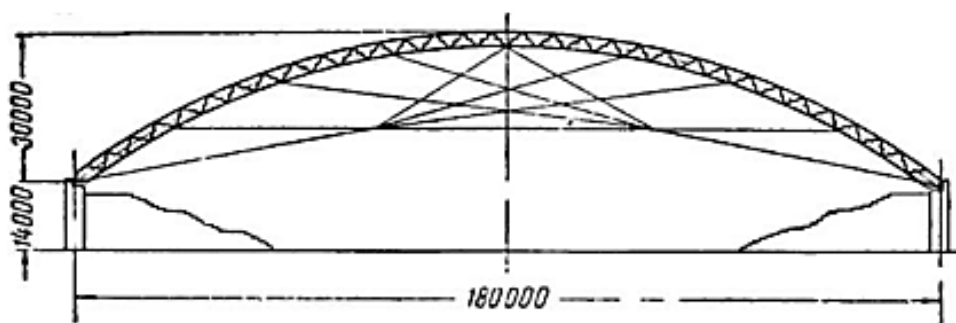
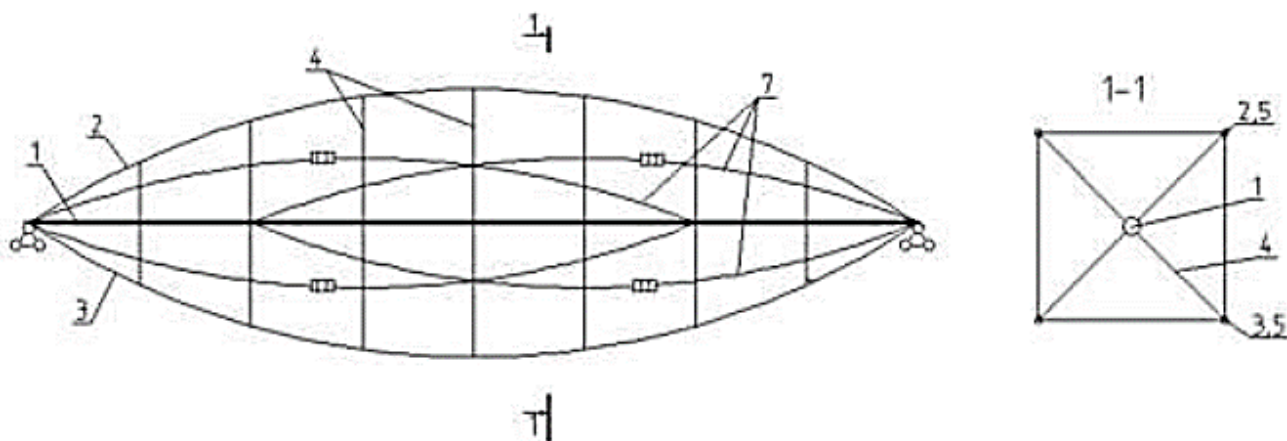


Рисунок 1.2 - Посилення арок попередньо натягнутими струнами

У будівництві досить часто застосовуються комбіновані конструкції, тобто конструкції, виконані одночасно з жорстких і гнучких матеріалів. У таких конструкціях результат попереднього напруження найсильніше помітний, оскільки наявність гнучких елементів дає змогу виключити додавання додаткових елементів, що напружують. Крім цього, змінюючи зусилля в гнучких елементах, можливо регулювати зусилля у всіх елементах конструкції. Завдяки цьому знижується вага конструкції [10].

Купольні конструкції, радіощогли, попередньо напружені шпренгельними, попередньо напружені стріли кранів, вантові ферми - це далеко не повний перелік комбінованих попередньо напружених конструкцій.

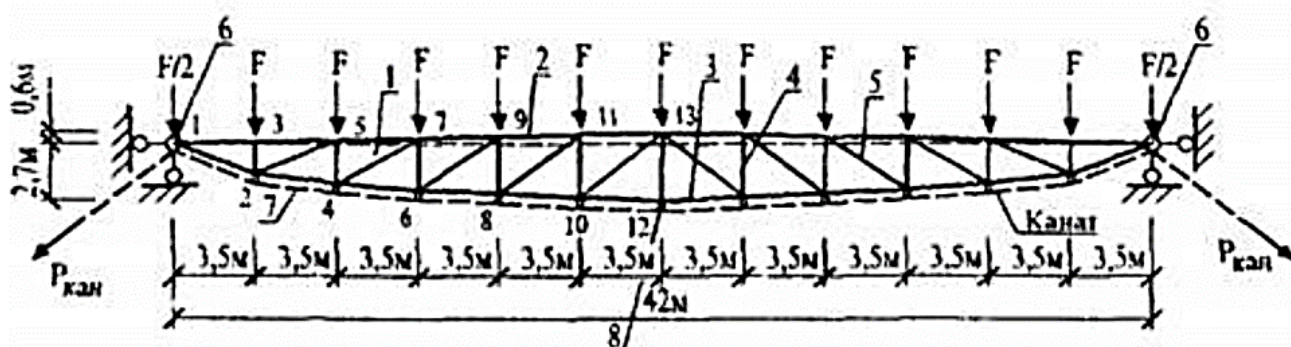
Ефективними є конструктивні форми комбінованих систем із застосуванням попереднього напруження. Одне з таких технічних рішень "являє собою попередньо напружену шпренгельну ферму, що складається з балки - розпірки та основного шпренгеля" (рисунок 1.3), яке дає змогу підвищити жорсткість і стійкість системи за умови завантаження частини прольоту. На шпренгельній фермі, у межах її зовнішніх габаритів, встановлено додаткові парні шпренгелі, що включають гнучкі зтяжки з натяжними пристроями. При вигині шпренгельної системи зтяжки шпренгелів перешкоджають переміщенням системи.



1 - балка-розпірка; 2,3 - верхні та нижні затяжки основного шпренгеля; 4- шпренгель;
5 - направляючі; 6 - зв'язкові елементи; 7 - затяжки додаткових шпренгелів.

Рисунок 1.3 - Попередньо напружена шпренгельна ферма

Ця система складається з несучого троса і з'єднаної з ним балки жорсткості. Балкою жорсткості слугує ферма зі стійками, розташованими на однаковій відстані одна від одної, розкріплені розкосами. Висота стійок пропорційна ординатам епюри моментів, що побудована в балці з таким самим прольотом, що й ферма під дією рівномірно розподіленого навантаження. Несучий трос пролягає нижнім поясом ферми і приєднується до всіх вузлів ферми шарнірно-рухомими зв'язками.



1 - балка жорсткості; 2,3 - пояси, 4 - стійки; 5 - розкоси; 6 - вузли кріплення системи; 7 - несучий трос; 8 - прогонові вузли.

Рисунок 1.4 - Попередньо напружена вантово-стрижнева система

Якщо несучий трос попередньо напружити на величину до 100 кН, то можна досягти зменшення зусиль у нижньому поясі приблизно на 17%. зусилля в розкосах при цьому практично зникають, а зусилля в стійках за будь-якої величини попереднього напруження залишаються незмінними [10].

1.3 Висновки до розділу 1

Виконавши огляд літератури, у якому було відображено досвід проектування попередньо напружених будівельних конструкцій, можна зробити такі висновки:

1. Попереднє напруження будівельних конструкцій - це одна з тенденцій технічного розвитку, що активно розвивається, завдяки якій можна забезпечити більш високий технічний рівень різноманітних будівельних конструкцій.

2. Попередньо-напружені будівельні конструкції, можна домогтися підвищення їхньої ефективності, знизити їхню вартість, заощадити матеріал, знизити вагу.

3. Одним із способів регулювання напружено-деформованого стану будівельних конструкцій є попереднє напруження їхніх елементів.

4. Попереднє напруження можливо використовувати в конструкціях з різних матеріалів, таких як металевих, залізобетонних, дерев'яних, різних розмірів і об'ємів: площинних, просторових, великопролітних.

5. Найефективніше застосовувати попереднє напруження в комбінованих (з різних матеріалів, або різної жорсткості) конструкціях, таких як шпренгельні ферми, вантові конструкції.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ РЕГУЛЮВАННЯ НДС КОНСТРУКЦІЙ

Регулювання напружено-деформованого стану конструкції - це цілеспрямований вплив за допомогою різних технічних прийомів на ті чи інші характеристики механічної поведінки або стану об'єкта (споруди, конструкції або їхніх елементів) з метою отримання вигідних за деяким заздалегідь прийнятим критерієм значень цих характеристик.

Регульовані параметри - характеристики об'єкта, що підлягають поліпшенню [7].

Регульовальні параметри (регулятори) - величини, завдяки зміні яких здійснюється вплив на НДС об'єкта і його характеристики (зокрема на регульовані параметри).

Критерій регулювання - загальна вихідна вимога до результату регулювання, виражена в якісній формі, без кількісної деталізації.

Умови регулювання за прийнятим критерієм - залежності (рівняння), що виражають мету регулювання, яким мають задовольняти значення регульованих параметрів унаслідок розв'язання задачі.

Під час розв'язання задач регулювання напружено-деформованого стану будь-яких конструкцій необхідно дотримуватися певних етапів

Аналіз вихідної розрахункової схеми конструкції та способів її регулювання є важливою частиною розв'язання задачі.

Перш ніж приступити до вирішення завдання регулювання, необхідно з'ясувати:

— які види деформацій виникають в елементах конструкцій, що розглядаються (вигин, розтягнення або стиснення, зсув, кручення) на різних стадіях їхнього існування;

— наскільки рівномірно або нерівномірно розподіляються зусилля (напруження) в поперечних перерізах різних елементів;

- чи є елементи, в яких матеріал слабо напружений, тобто використовується неефективно;
- у яких елементах виникають максимальні зусилля (напруження);
- які поперечні перерізи є небезпечними (розрахунковими в разі підбору перерізу);
- яке НДС бажано створити в конструкції;
- які вихідні дані задачі (нерегульовані параметри);
- які з параметрів можна перевести в розряд регульованих.

Після аналізу необхідно виконати поставлення задачі регулювання, яка вимагає глибокого розуміння роботи конструкції як для формування бажаних умов, яким має задовольняти конструкція, так і для вибору варійованих параметрів. Необхідно вибрати регульовані параметри та критерії регулювання.

Як критерії регулювання можуть бути прийняті такі: рівність зусиль у небезпечних перерізах, зменшення величин деяких чинників тощо. З набору можливих засобів регулювання важливо виділити найбільш ефективні.

Для відповіді на поставлені запитання необхідно зробити розрахунок конструкції. Після цього проводимо аналіз і дивимося, які перерізи напружені більше, які недонапружені і який напружений стан конструкції бажаний (який перерозподіл зусиль необхідно зробити, які водночас способи (засоби) регулювання можуть бути найефективнішими.

Слід зазначити, що не кожен засіб регулювання призводить до бажаного результату, тобто завдання може і не мати розв'язання за такого способу регулювання [8].

Часто завдання регулювання вирішуються шляхом послідовного перебору регуляторів.

2.1 Огляд чисельних методів будівельних конструкцій у програмних комплексах

Дослідження крайових задач (систем рівнянь із початковими та граничними

умовами) через свою складність не дає змоги використовувати аналітичні способи розв'язання.

Наразі провідні позиції в дискретизації крайових задач посідає метод скінченних елементів (МСЕ), що дає змогу розв'язувати широкий комплекс задач математичного моделювання в різних галузях [13].

Нині цей метод, званий методом скінченних елементів (МСЕ), належить до числа найпоширеніших способів наближеного розв'язання диференціальних рівнянь.

Уперше математичні основи цього методу було сформульовано Р. Курантом у 1943 р. Термін "скінченний елемент" першим увів Р. Клаф 1960 р. Згодом метод, запропонований Курантом, був повторно відкритий інженерами, істотно розвинений і узагальнений. Розвиток метод отримав завдяки таким ученим як К. Бате, Е. Вілсон, О.Зенкевич та ін., роботи яких стали класикою в галузі чисельних методів механіки.

В основі методу лежить ідея апроксимації безперервної функції дискретною моделлю, побудованою на множині кусково-безперервних функцій, кожна з яких визначена на скінченній кількості підобластей - скінченних елементів. Досліджувана область дробиться на елементи, і на кожному з них невідома функція апроксимується певною функцією (як правило, ця функція є поліномом). Ці функції мають задовольняти граничним умовам безперервності, що збігаються з граничними умовами, які накладаються самою задачею. Вибором апроксимувальної функції для кожного елемента визначається його тип елемента.

Більшість сучасних універсальних і спеціалізованих програмних комплексів побудовано на базі методу скінченних елементів (МСЕ). У них, як правило, представлені інструменти для розв'язання просторових задач у статичній і динамічній постановках. МСЕ впевнено зберігає свої провідні позиції під час комплексного аналізу комбінованих систем, що включають стрижневі, плитно-оболонкові та об'ємні елементи.

Використання сучасних комп'ютерних технологій дає змогу досягти високих практичних та економічних результатів у різних галузях промисловості.

Наразі існує понад сотня програмних комплексів, націлених на вирішення завдань будівництва.

Найпоширеніша класифікація програмного забезпечення складається виходячи з цілей, які досягаються в процесі використання програмних продуктів. Так, можна виділити дві загальні групи комплексів: CAD- системи (Computer-Aided Design) і CAE-системи (Computer Aided Engineering). CAD-системи - програмні комплекси, призначені для автоматизації процесу проектування (AutoCAD, Revit, SolidWorks).

CAE-системи - це різноманітні програмні продукти, що дають змогу за допомогою конкретних методів оцінити, як поведе себе комп'ютерна модель виробу в реальних умовах експлуатації. Моделювання та аналіз різноманітних фізичних процесів, таких як навантаження балки, руйнування конструкції тощо. Більшість сучасних CAE-систем ґрунтується на повних математичних моделях, що являють собою системи рівнянь у приватних похідних, які розв'язуються за допомогою методів скінченних різниць, скінченних об'ємів (МКО) і скінченних елементів (МСЕ). Досить-таки часто CAD- і CAE-системи використовують як етапи процесу проектування, що доповнюють один одного.

Сучасні програмні комплекси мають великі бібліотеки скінченних елементів, що включають: стрижневі (прямо- і криволінійні), двовимірні (для моделювання плоского напруженого, плоского деформованого або осесиметричного стану), плитні (одно- і багатопарові, тонко-, середньо- і товстостінні) і оболонкові (постійної і змінної товщини), тривимірні (об'ємні) скінченні елементи. Різноманітність скінченних елементів дають змогу моделювати різні характеристики та напружено-деформований стан досліджуваних систем у різних постановках: плоскій, осесиметричній або тривимірній [14].

Найвідоміші CAE-комплекси, які дають змогу розв'язувати задачі проектування і дослідження будівельних конструкцій, будівель і споруд, це - ABAQUS, ANSYS, NASTRAN, і т.д. В Україні поширене застосування програмного комплексу, заснованого на МСЕ - Ліра.

SCAD: обчислювальний комплекс для аналізу міцності конструкцій за допомогою МСЕ. Програмний комплекс дає змогу розраховувати напружено-деформований стан (НДС) конструкцій із різних матеріалів, включно зі стрижневими, пластинчастими, твердотільними та комбінованими конструкціями. Незаперечними перевагами цього комплексу для російських проектувальників є його локалізація відповідно до російських стандартів проектування і наявність російськомовної версії. Варто зауважити, що наразі програмний продукт має обмежений набір технологій урахування нелінійних властивостей матеріалів, а також не дає змоги розв'язувати задачі механіки рідини та газу, що суттєво під час визначення вітрових навантажень на будівлі, проектування систем вентиляції тощо.

Ліра: багатофункціональний програмний комплекс для розрахунку і проектування будівельних і машинобудівних конструкцій різного призначення.

Головною перевагою програми є наявність інструментів конструювання залізобетонних і сталевих елементів відповідно до нормативів країн СНД, Європи та США, а також можливість отримання робочих креслень конструкції механізмів (маркувальні схеми, відомості елементів, вузли, специфікації) в середовищі AutoCAD в автоматизованому режимі. За допомогою програми виконуються розрахунки НДС конструкцій, динамічні та сейсмічні розрахунки тощо. Можливість суперелементного моделювання дає змогу ефективно розв'язувати задачі великої розмірності.

NASTRAN: скінченно-елементний ПК, що дає змогу проводити розрахунки НДС конструкцій, власних частот і форм коливань, стійкості, критичних частот і вібрацій роторних машин, досліджувати динамічні й нелінійні процеси, складні контактні взаємодії, аеропружність, а також розв'язувати теплові задачі та задачі акустики.

ABAQUS: скінченно-елементний ПК, універсальна система загального призначення, призначена для проведення багатоцільового, інженерного, багатодисциплінарного аналізу в галузях загальної механіки та геомеханіки, машинобудування, автомобілебудування, електроніки, металургії,

нафтовидобутку та переробки.

MIDAS: дає змогу виконувати проєктування і розрахунків унікальних об'єктів цивільного, промислового і транспортного будівництва. Включає набір модулів для проєктування мостових конструкцій і цивільних споруд (MIDAS Civil), комплексних розрахунків геотехнічних об'єктів (MIDAS GTS), моделювання нелінійних процесів (MIDAS FEA), зокрема, розрахунку стійкості з урахуванням нелінійності, контактних задач, тріщиноутворення тощо.

ANSYS: скінченно-елементний програмний комплекс, який пов'язує й об'єднує безліч додатків для розрахунку завдань, а також має один із найповніших і найефективніших інструментаріїв.

Програмне забезпечення ANSYS дає змогу проводити чисельний аналіз задач механіки суцільних середовищ і надає широкі можливості для підготовки обчислювальних геометричних і скінченно-елементних моделей і подальшого опрацювання результатів розрахунків. Крім того, програмний пакет ґрунтується на ефективних алгоритмах розпаралелювання, які можуть значно скоротити час розрахунку для складних будівельних задач.

Розглянемо цей програмний комплекс докладніше, а також застосовуватимемо його для розв'язання завдань кваліфікаційної роботи.

2.2 Програмний комплекс ANSYS для дослідження НДС комбінованої блок-ферми покриття

Програмний комплекс ANSYS належить до числа лідерів у галузі CAE-продуктів скінченно-елементного аналізу і має величезний досвід у розв'язанні прикладних задач чисельними методами. У 1970 році вийшла перша версія програмного комплексу ANSYS. Ця версія продукту допомагала проводити розрахунки напружено-деформованого стану конструкцій і теплові розрахунки в стаціонарній постановці, відтоді можливості програмного комплексу зросли багаторазово. Постійно вдосконалюється графічний інтерфейс програми, але при цьому основна логіка роботи в програмі не змінювалася. Усі команди подаються в

основному вікні у вигляді дерева, для побудови і редагування геометричних моделей використовувалися прикладні модулі. Паралельно набирали розвиток CAD-системи проєктування, які надавали користувачеві розширені можливості для створення, редагування, управління геометричними моделями. Питання про інтеграцію окремих програмних комплексів у єдине розрахункове середовище ставало дедалі актуальнішим, адже розв'язання цієї проблеми сприяло розкриттю всіх можливостей багатодисциплінарного аналізу. Починаючи з 10-ї версії програмного комплексу, фірма ANSYS, Inc. запропонувала нову платформу Workbench, що вирізнялася сучасним графічним інтерфейсом, а головне - мала можливість керування окремими модулями та продуктами ANSYS.

ANSYS Workbench - це єдине інтерактивне середовище, що інтегрує різні програмні продукти ANSYS, Inc. один з одним, а також і з CAD- системами, має модульну структуру і дає нові можливості як у препроцесорній підготовці, так і в розв'язуванні задач та опрацюванні результатів. Основне покликання Workbench - прискорити, спростити, підвищити ефективність та уніфікувати постановку завдань, незалежно від їхньої приналежності до конкретної фізичної дисципліни та використовуюваного розв'язувача.

У результаті цих взаємозв'язків програмний комплекс має низку переваг і можливостей, а саме:

- швидку підготовку геометрії для аналізу потоку;
- виключення дублювання вихідних даних;
- легко розрахувати кілька варіантів геометрії, сітки, фізики процесу й автоматично отримати нові результати моделювання для цієї серії розрахунків;
- покращувати якості розроблюваного виробу (процесу) завдяки ясному розумінню процесів, що відбуваються, з подальшим коректним проєктуванням.

У даній роботі під час дослідження комбінованої блок-ферми покриття використовуємо платформу ANSYS Workbench, що є основним компонентом, який інтегрує в єдиний робочий простір окремі додатки, такі як Static Structural і Transient Structural та надає інтерфейс обміну даними між ними.

Static Structural - призначений для розв'язання задач механіки деформівного

твердого тіла в статичній постановці.

Transient Structural - модуль для розв'язання задач динаміки конструкцій. Заснований на неявних схемах інтегрування рівнянь руху.

Першим етапом вирішення завдання є створення геометричної моделі або імпорт готової моделі зі сторонніх CAD-систем. У Workbench для цього використовується модуль Geometry, який дає змогу викликати додаток Design Modeler або SpaceClaim Direct Modeler.

На другому етапі виконується просторова дискретизація розрахункової області, яка відповідає вихідній геометричній моделі, отриманій на попередньому кроці. Побудова розрахункової сітки може бути виконана за допомогою модуля Meshing. Далі залежно від типу аналізу, який передбачається використати в роботі, проводиться опис математичної моделі та підбирається необхідний розрахунковий модуль. Наприклад, для розрахунку напружено- деформованого стану (НДС) конструкції під дією статичних навантажень слід використовувати модуль Static Structural. На цьому етапі необхідно задати властивості матеріалів, граничні та початкові умови задачі, вибрати методи розрахунку, налаштувати розв'язувач відповідно до прийнятої фізико-математичної моделі та задати необхідну точність розрахунку.

Процес розрахунку є повністю автоматизованим, проте рекомендується здійснювати контроль над процесом розв'язання: слідкувати за поведінкою розв'язання та його відповідністю критеріям збіжності, виводити на екран додаткові параметри, які дають змогу оцінити потрібні кількісні характеристики розв'язання, і т.д. Після завершення розрахунку необхідно проаналізувати отримані результати і, якщо є можливість, порівняти їх із наявними експериментальними даними [15].

2.3 Висновки до розділу 2

Регулювання НДС конструкцій здійснюється введенням у конструкцію нових параметрів регулювання (регуляторів).

Регулюючи НДС конструкції, необхідно визначитися з цілями регулювання і засобами, за допомогою яких це регулювання досягається.

Як критерії регулювання можуть бути прийняті такі: рівність зусиль у небезпечних перерізах, зменшення величин деяких чинників тощо.

Зі способів регулювання, більшою мірою поширений метод попереднього напруження.

Регулювання НДС конструкцій може здійснюватися на будь-якому етапі життєвого циклу будівельних конструкцій.

Лідерські позиції в дискретизації крайових задач посідає метод скінченних елементів (МСЕ), що дає змогу розв'язувати широкий комплекс задач математичного моделювання в різних галузях.

Більшість сучасних універсальних і спеціалізованих програмних комплексів побудовано на базі МСЕ. ABAQUS, ANSYS, NASTRAN, SCAD і Ліра.

Розв'язання задач у програмному комплексі ANSYS поділяється на три етапи. Першим етапом розв'язання задачі є створення геометричної моделі або імпорт готової моделі зі сторонніх CAD-систем. На другому етапі виконується просторова дискретизація розрахункової області. Далі проводиться опис математичної моделі та підбирається необхідний розрахунковий модуль. Процес розрахунку є повністю автоматизованим. Третім етапом є аналіз отриманих результатів.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ЕФЕКТИВНОГО ПІДКРІПЛЕННЯ ПЛИТИ ШПРЕНГЕЛЕМ

Мета: Вибір типу шпренгеля для створення найбільш ефективного НДС плити.

Завдання:

1. Виконати розрахунок плити з різними варіантами шпренгеля;
2. Розрахунок попередньо напруженої шпренгельної плити на статичні та динамічні навантаження.

3.1 Розрахунок плити з різними варіантами шпренгеля

Розглянемо кілька варіантів підкріплення:

Варіант підкріплення 1

Вихідні дані:

Розглядається пластинчасто-стрижнева система (шпренгельна плита). Розрахункову схему, задане навантаження, геометричні та механічні характеристики плити й елементів шпренгеля наведено на (рис. 3.1). Матеріал плити бетон С25/30.

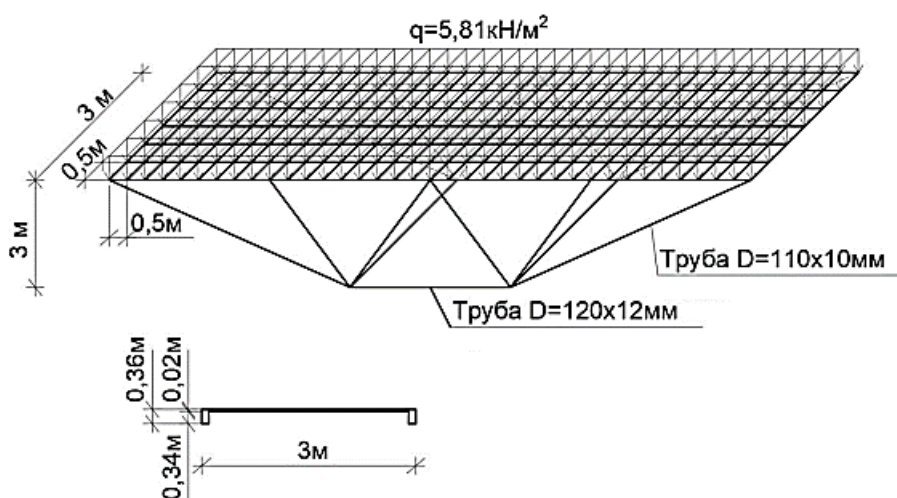


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема для 1-го варіанта підкріплення Розрахунок плити на задане навантаження виконаємо за ПК SCAD

На (рис.3.2) наведено скінченно-елементну модель шпренгельної плити в ПК SCAD для 1-го варіанта підкріплення.

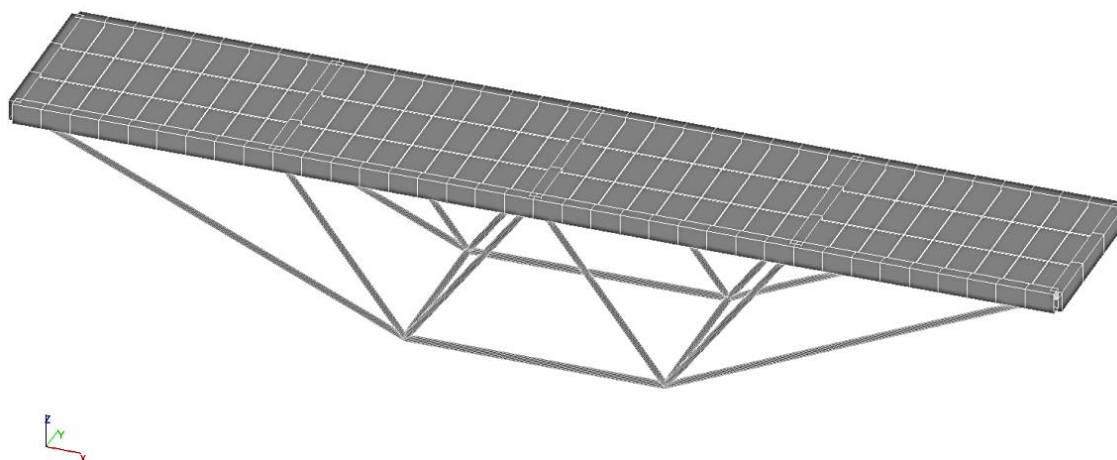


Рисунок 3.2 - Скінченно-елементна модель розрахункової схеми в ПК SCAD для 1-го варіанта підкріплення

Результати розрахунку плити у вигляді ізополів згинальних моментів M_x , епюри згинальних моментів M_y і величин прогинів для 1-го варіанта підкріплення наведено на (рис. 3.3-3.5).

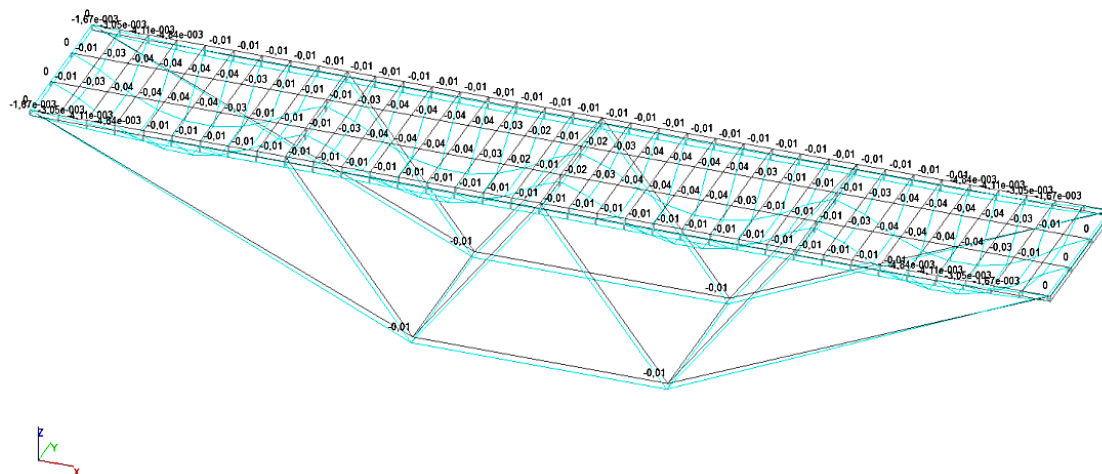


Рисунок 3.3 - Переміщення за віссю z, (max 0,04 м = 40 мм) для 1-го варіанта підкріплення

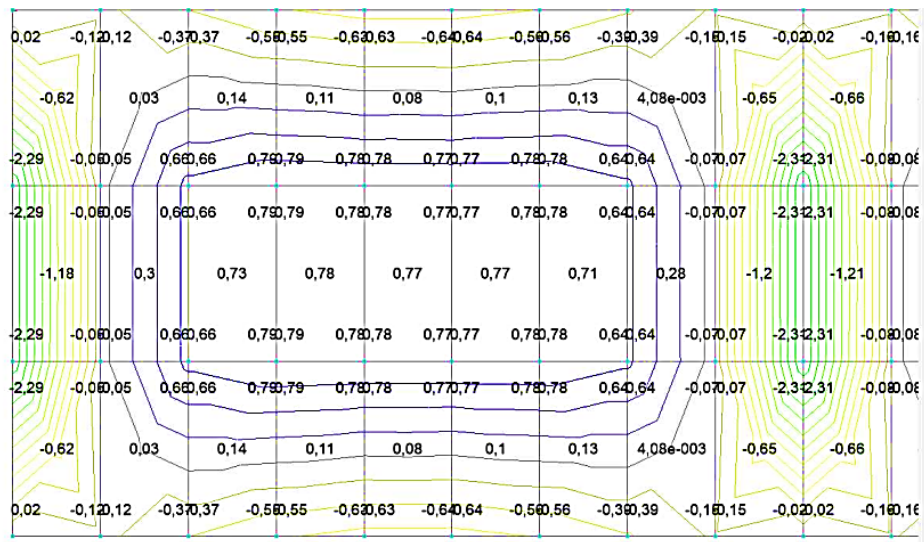


Рисунок 3.4 - Ізополя M_x , (max 2,31кНм/м) для 1-го варіанта підкріплення

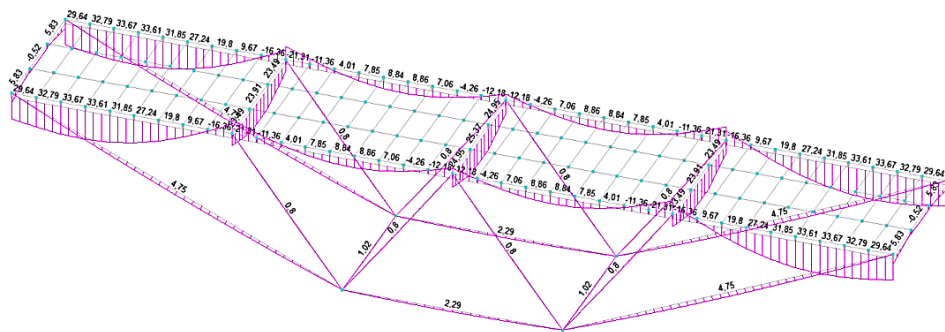


Рисунок 3.5 - Епюра згинальних моментів M_y , (max 330,67 кН*м) для 1-го варіанта підкріплення

Варіант підкріплення 2

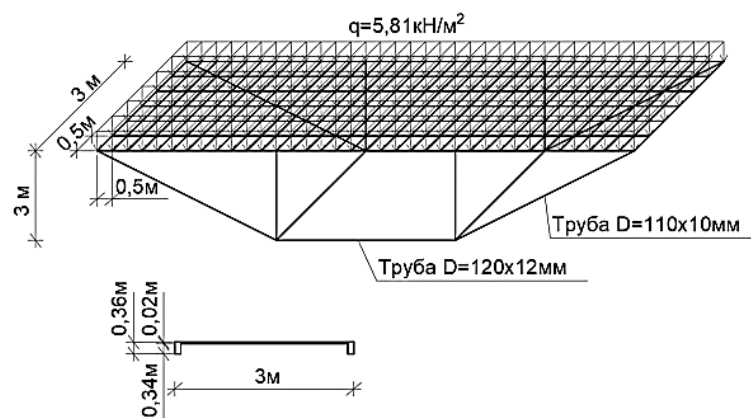


Рисунок 3.6 - Розрахункова схема для 2-го варіанта підкріплення Розрахунок плити на задане навантаження виконаємо за ПК SCAD

На (рис.3.7) наведено скінченно-елементну модель шпренгельної плити в ПК SCAD для 2-го варіанта підкріплення.

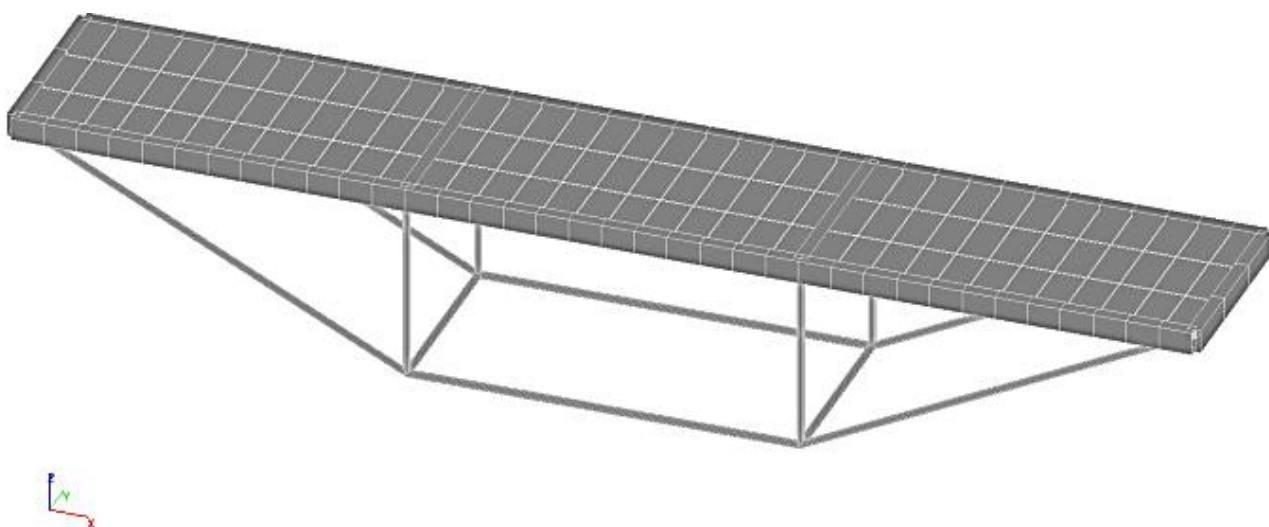


Рисунок 3.7 - Скінченно-елементна модель розрахункової схеми в ПК SCAD для 2-го варіанта підкріплення

Результати розрахунку плити у вигляді ізополів згинальних моментів M_x , епюри згинальних моментів M_y і величин прогинів для 2-го варіанта підкріплення наведено на (рис. 3.8-3.10).

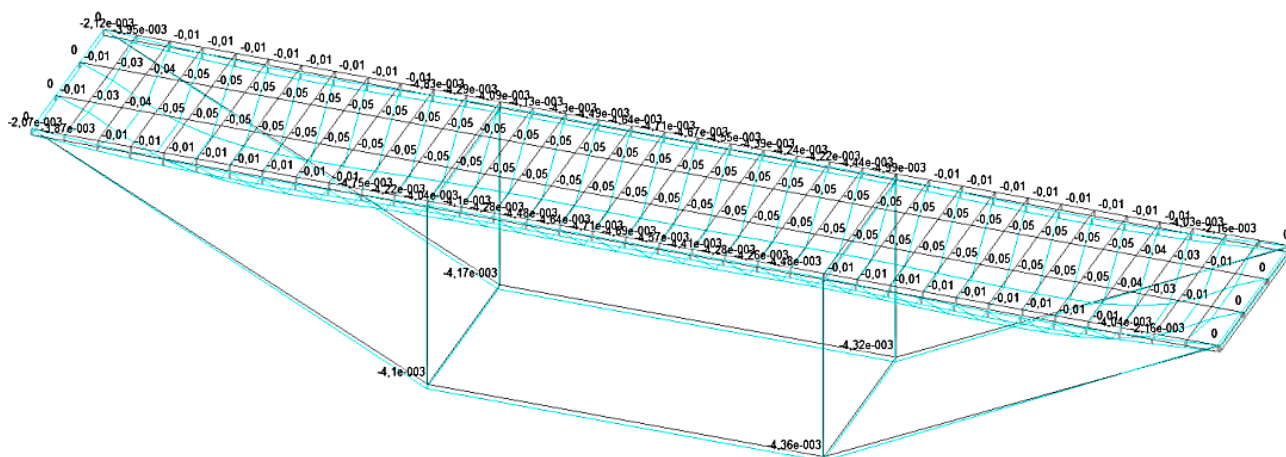


Рисунок 3.8 - Переміщення за віссю z, (max 0,05 м = 50 мм) для 2-го варіанта підкріплення

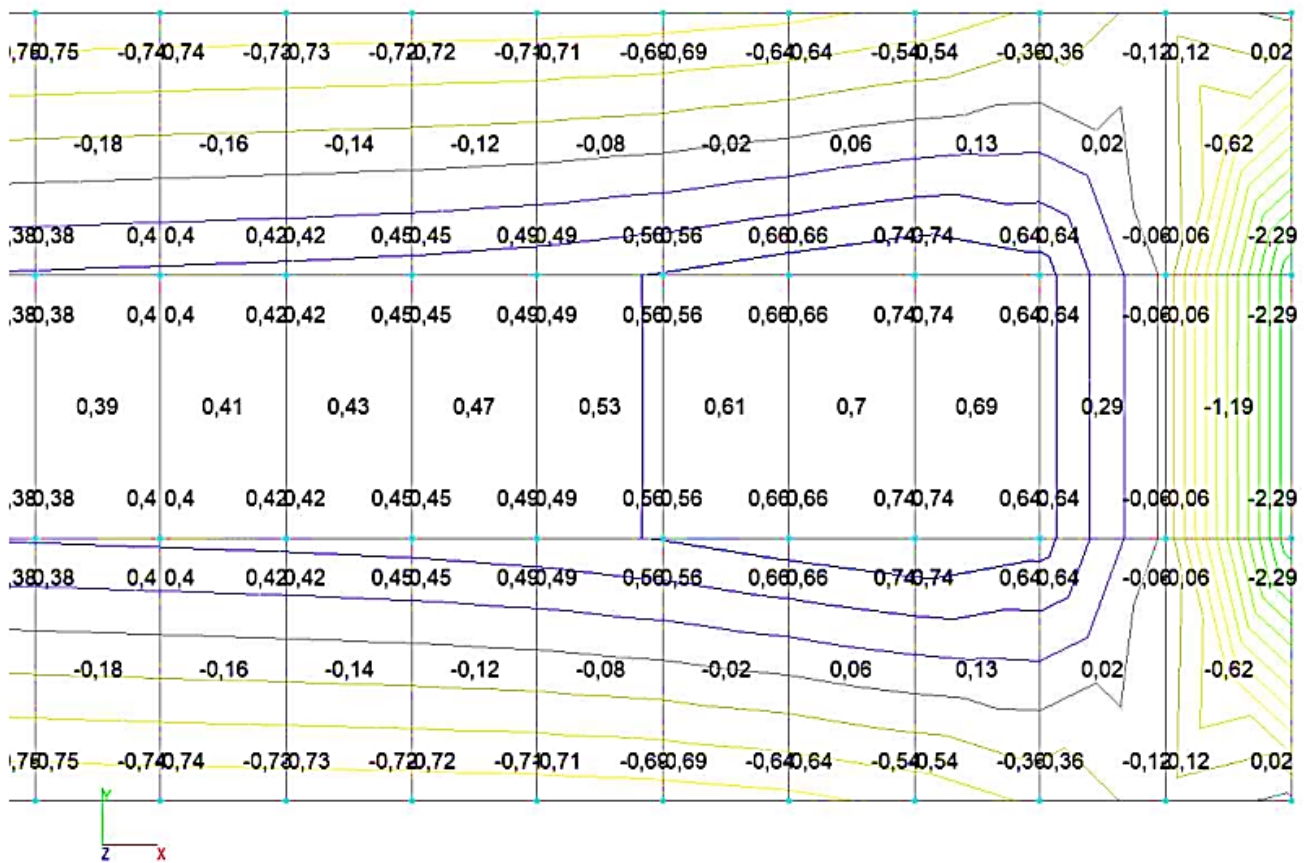


Рисунок 3.9 - Ізополя M_x , (max 2,29 kNm/m) для 2-го варіанта підкріплення

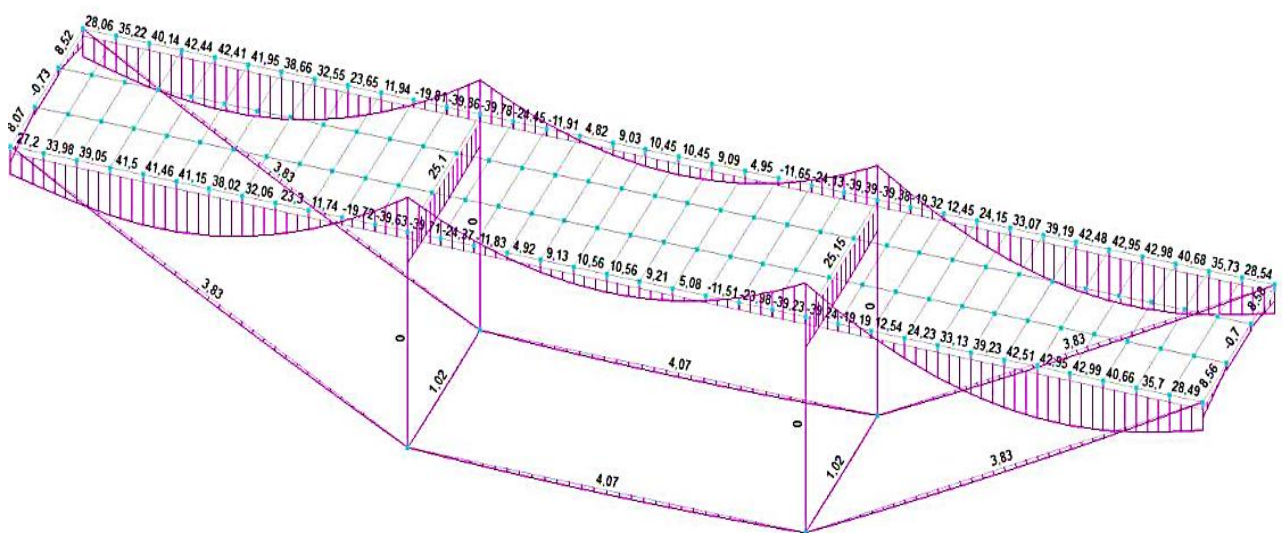


Рисунок 3.10 - Епюра згинальних моментів M_y , (max 39,86 kNm) для 2-го варіанта підкріплення

Варіант підкріплення 3

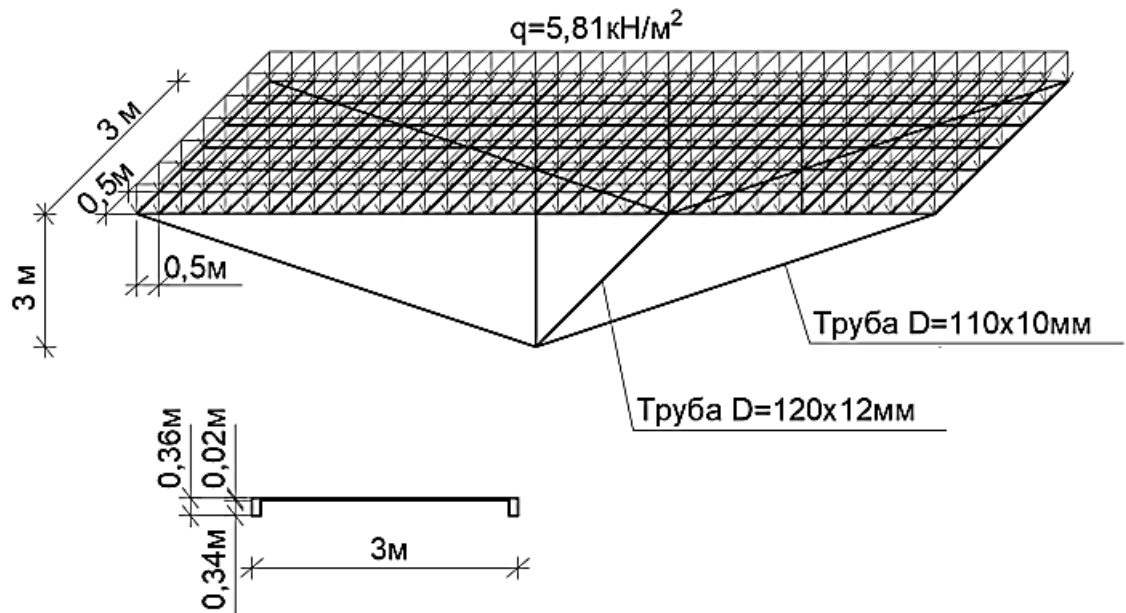


Рисунок 3.11 - Розрахункова схема для 3-го варіанта підкріплення

Розрахунок плити на задане навантаження виконаємо за ПК SCAD. На (рис.3.12) наведено скінченно-елементну модель шпренгельної плити в ПК SCAD для 3-го варіанта підкріплення.

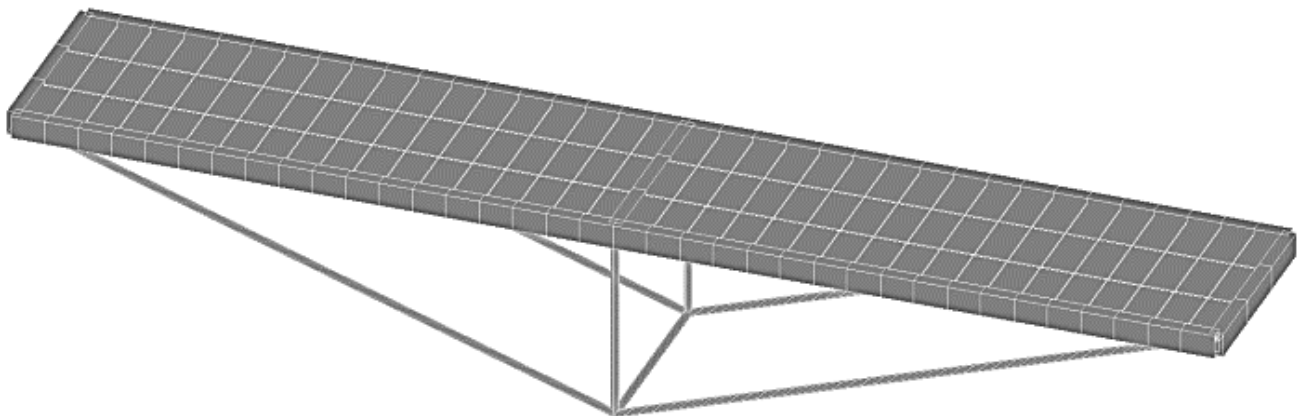


Рисунок 3.12 - Скінченно-елементна модель розрахункової схеми в ПК SCAD для 3-го варіанта підкріплення

Результати розрахунку плити у вигляді ізополів згинальних моментів M_x , епюри згинальних моментів M_y і величин прогинів для 3-го варіанта підкріплення наведено на (рис. 3.13-3.15).

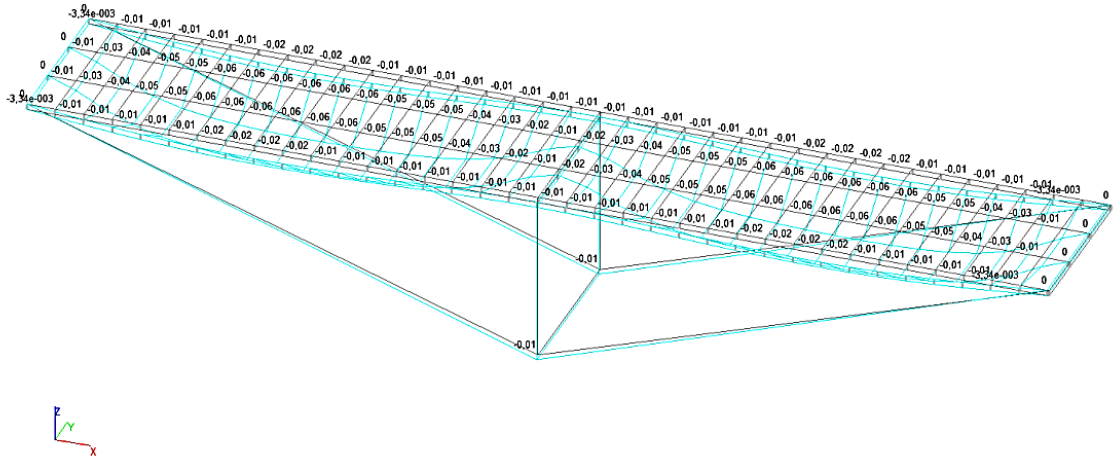


Рисунок 3.13 - Переміщення за віссю z, (max 0,06 м = 60 мм) для 3-го варіанта підкріплення

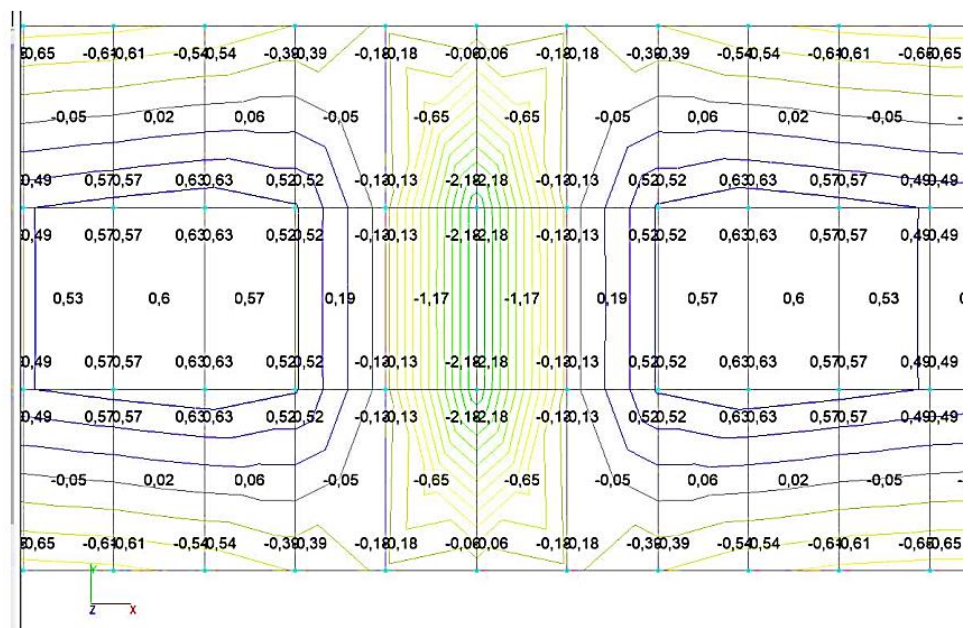


Рисунок 3.14 - Ізополі M_x , (max 2,18 кНм/м) для 3-го варіанта підкріплення

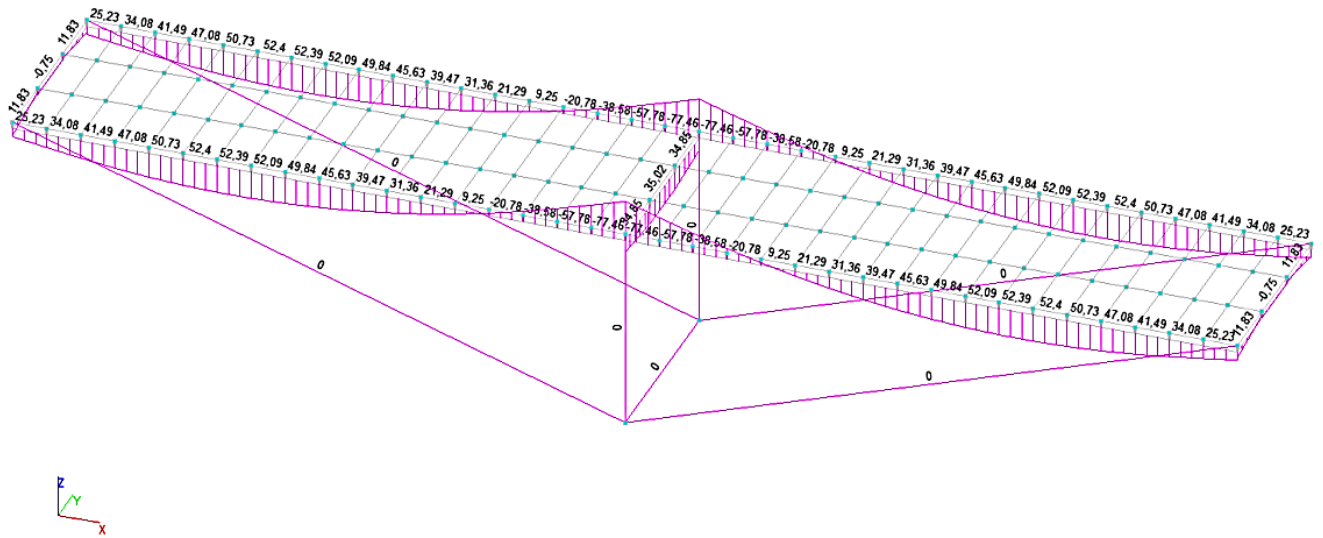


Рисунок 3.15 - Епюра згинальних моментів M_y , (max 770,46 кН*м) для 3-го варіанта підкріплення

Варіант підкріплення 4

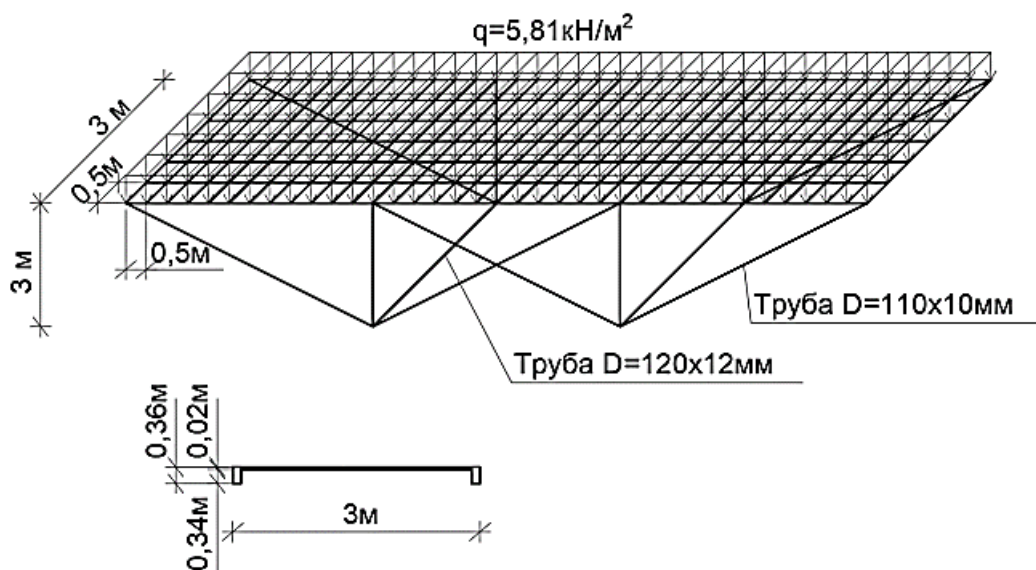


Рисунок 3.16 - Розрахункова схема для 4-го варіанту підкріплення

Розрахунок плити на задане навантаження виконаємо за ПК SCAD. На (рис. 3.17) наведено скінченно-елементну модель шпренгельної плити в ПК SCAD для 4-го варіанту підкріплення.

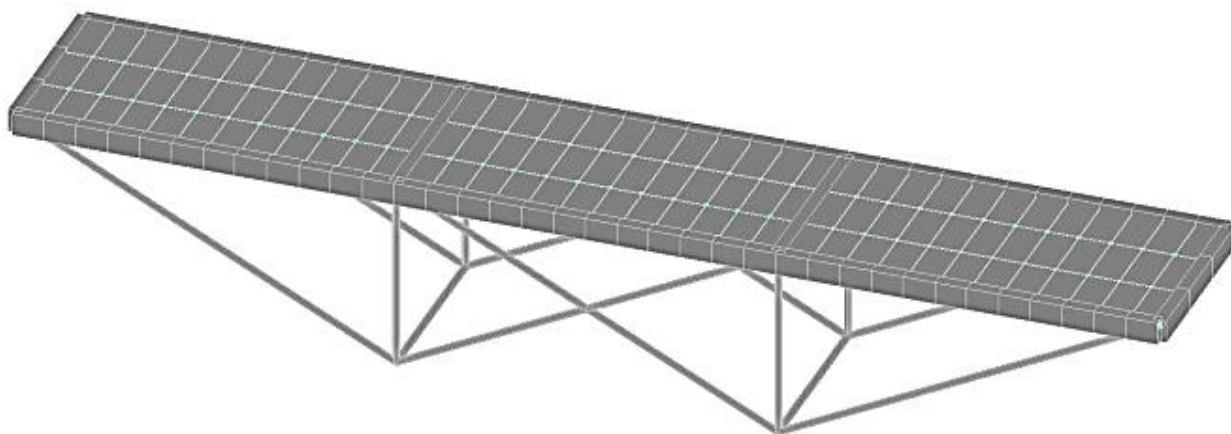


Рисунок 3.17 - Скінченно-елементна модель розрахункової схеми в ПК SCAD для 4-го варіанта підкріплення

Результати розрахунку плити у вигляді ізополів згинальних моментів M_x , епюри згинальних моментів M_y і величин прогинів для 4-го варіанта підкріплення наведено на (рис. 3.18-3.20).

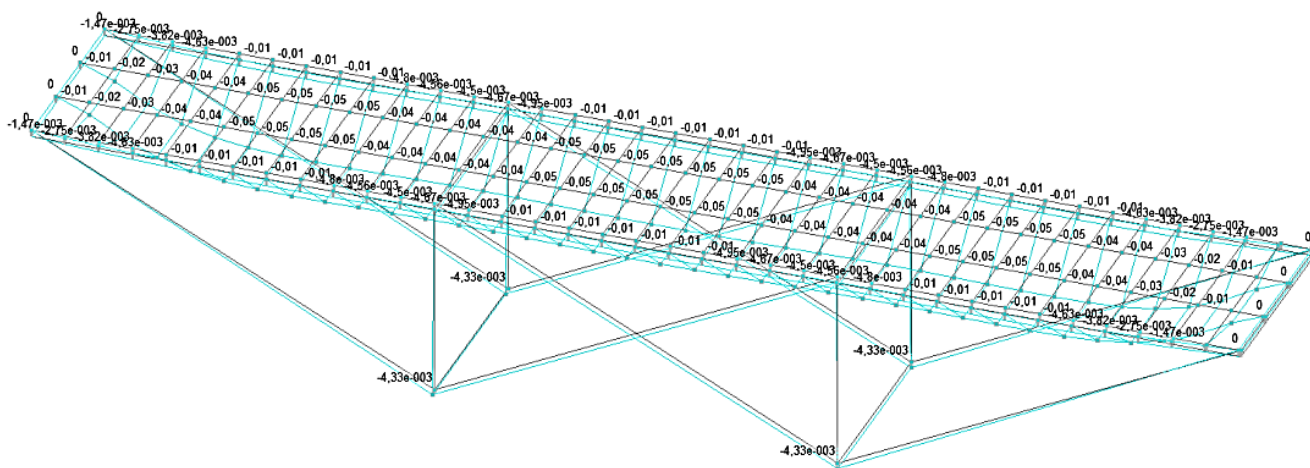


Рисунок 3.18 - Переміщення за віссю z, (max 0,05 м = 50 мм) для 4-го варіанта підкріплення

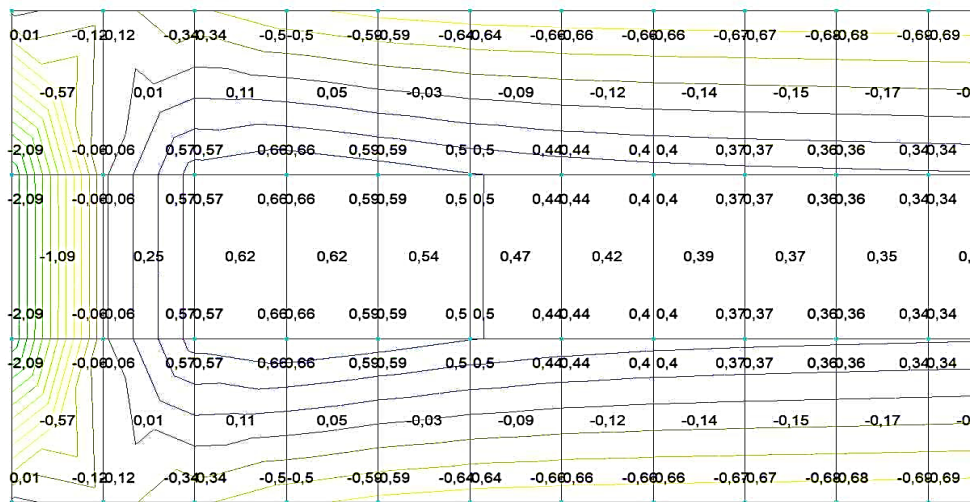


Рисунок 3.19 - Ізополя M_x , (max 2,09 кНм/м) для 4-го варіанта підкріплення

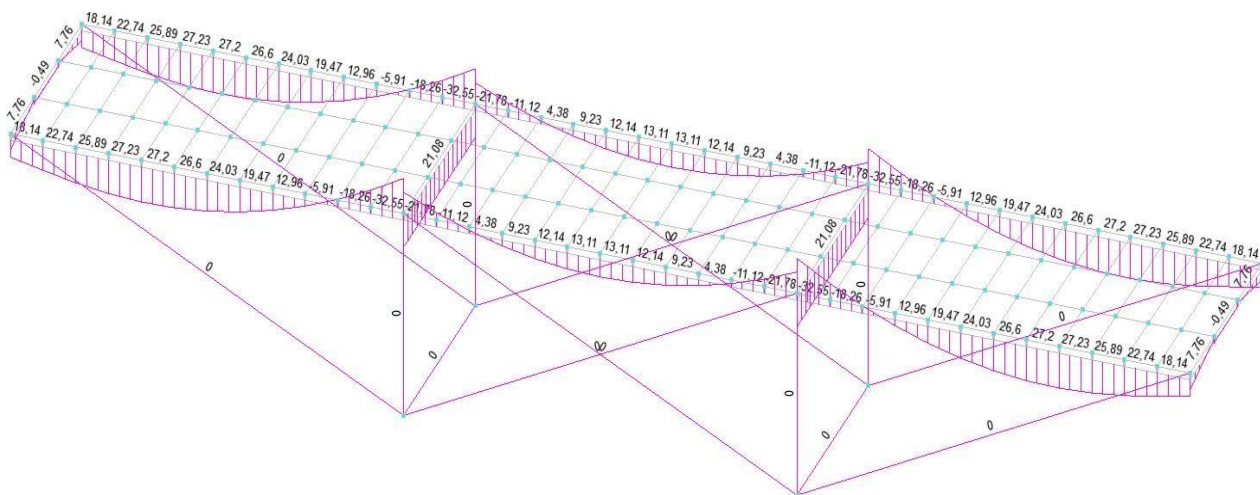


Рисунок 3.20 - Епюра згинальних моментів M_y , (max 340,55 кН*м) для 4-го варіанта підкріплення

Таблиця 3.1 Результати розрахунку плити з різними варіантами шпренгеля

Найменування	Переміщення по осі z , мм	Ізополя M_x , кНм/м	Епюра згинальних моментів M_y , кН*м
Шпренгельна плита з варіантом підкріплення № 1	40	2,31	330,67
Шпренгельна плита з варіантом підкріплення № 2	50	2,29	390,86
Шпренгельна плита з варіантом підкріплення № 3	60	2,18	770,46
Шпренгельна плита з варіантом підкріплення № 4	50	2,09	340,55

Висновок: на основі отриманих результатів можна зробити висновок, що найвигіднішим підкріпленням є шпренгельна плита з 1-им варіантом підкріплення.

3.2 Розрахунок попередньо напруженої шпренгельної плити на статичні та динамічні навантаження

Вихідні дані:

Проектування цеху з покриттям із комбінованих блок-ферм. Основні розміри будівлі:

- проліт $l = 18$ м;
- крок конструкцій $B = 3$ м;
- висота до низу несучих конструкцій покриття $h = 5,75$ м;
- довжина будівлі $L = 33$ м.

Район будівництва характеризується такими природно- кліматичними умовами:

- будівельно-кліматичний підрайон 1В;
- нормативне значення снігового покриву - 1,5 кПа (150 кгс/м²) - III сніговий район;
- нормативне значення вітрового тиску - 0,38 кПа (38 кгс/м²) - III вітровий район;
- температура зовнішнього повітря найхолоднішої п'ятиденки (забезпеченістю 0,92) - мінус 17°C;
- середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період - мінус 6,7°C;
- середня тривалість опалювального періоду 183 доби.

Загальний вигляд будівлі представлений на (рис. 3.21).

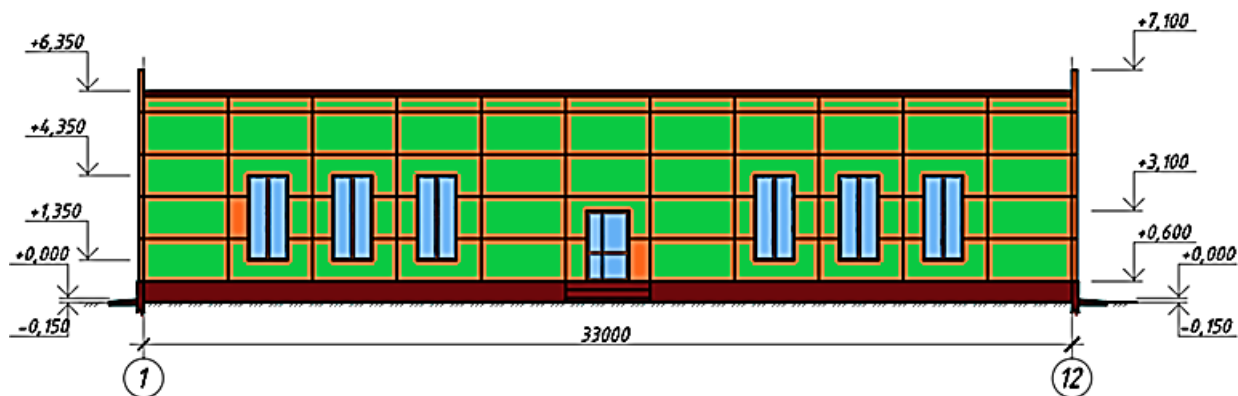


Рисунок 3.21 - Цех, загальний вигляд

Опис конструктивної схеми. Каркас будівлі являє собою блок-ферму покриття, яка спирається на колони. Сполучення колон із фундаментами прийнято жорстким, блок-ферм із колонами шарнірне.

Колони прийнято перерізом 200 x 200 мм, з бетону В30, ребра жорсткості виконано з бетону С25/30 перерізом 90 x 130 мм, елементи розкосів запроєктовано у вигляді труб зі сталі звичайної перерізом 110 x 10 мм, нижній пояс сталевий перерізом 120x12 мм.

Структурна плита розмірами в плані в х l = 3 x 18 м і висотою h = 0,03 м.

Розмір комірки (крок) сітки a = 1 м.

Будівля розмірами в плані в х l = 18 x 33 м і висотою до низу несучих конструкцій h = 5,75 м.

Опис розрахункової схеми. Для розрахунку використовується обчислювальний комплекс скінченно- елементного аналізу конструкцій SCAD.

Розрахункова схема являє собою ідеалізовану просторову стрижневу модель, представлену на (рис. 3.22).

Конструкція є статично невизначеною системою, у якій зусилля та переміщення елементів перебувають залежно від їхніх жорсткостей. Для завдання жорсткостей необхідно призначити розміри поперечних перерізів елементів розрахункової схеми. На (рис. 3.23) представлено типи жорсткостей розрахункової схеми.

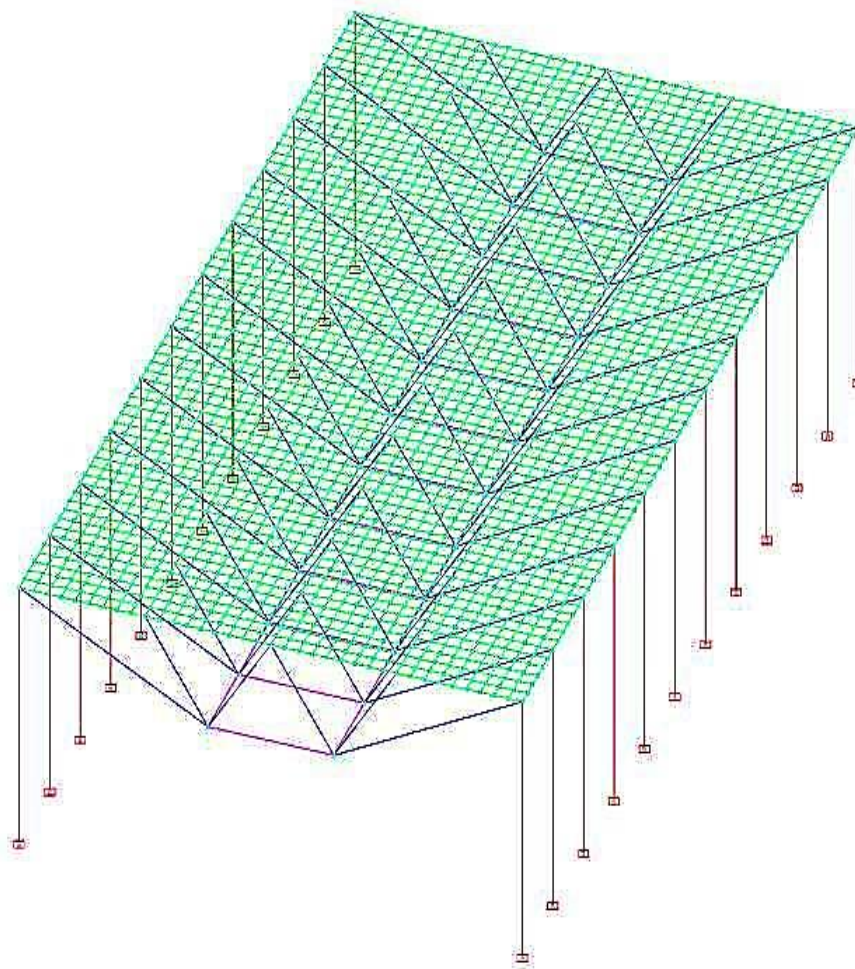


Рисунок 3.22 - Розрахункова схема будівлі

<input checked="" type="checkbox"/>	?		?		0	
<input checked="" type="checkbox"/>	1			$h=0.03$	2772	
<input checked="" type="checkbox"/>	2			50×100	762	
<input checked="" type="checkbox"/>	3			90×9	72	
<input checked="" type="checkbox"/>	4			100×9	34	
<input checked="" type="checkbox"/>	5			200×200	24	

Рисунок 3.23 - Типи жорсткості розрахункової схеми

Збір навантажень подано в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Збір навантажень

№ п/п	Найменування навантаження	Нормативне значення g_n , кН/м ²	γ_f	Розрахункове значення g_p , кН/м ²
Постійні навантаження				
1	Власна вага конструкцій	Автоматично у ПК SCAD	1,05	
2	Конструкція покриття, зокрема	0,66		0,84
2.1	Гідроізоляція, 1,5 мм	0,015	1,2	0,018
2.2	Утеплювач ($\gamma=200$ кг/м ³ , $n=140$ мм)	0,29	1,2	0,35
2.3	Водоізоляційний килим	0,17	1,3	0,22
2.4	Гравій ($\gamma=1800$ кг/м ³ , $n=10$ мм)	0,19	1,3	0,25
Тимчасові навантаження				
4	Снігове навантаження. Рівномірне навантаження ($\mu = 1$)	1,5	1,4	2,1
5	Вітрове навантаження (III вітровий район)	0,038	1,4	0,0532

Аналіз вихідного завдання

Для аналізу НДС вихідної схеми блок-ферми покриття, виконаємо розрахунок.

Ізополя прогинів у шпренгельній плиті від найгіршого поєднання навантажень подано на (рис.3.24).

Оскільки будівля являє собою однакові рами з кроком 3 м, для зручності аналізу використовуватимемо раму з найбільш не вигідним положенням. Переміщення вихідної схеми Δz від найгіршого поєднання навантажень подано на рисунку 3.24.

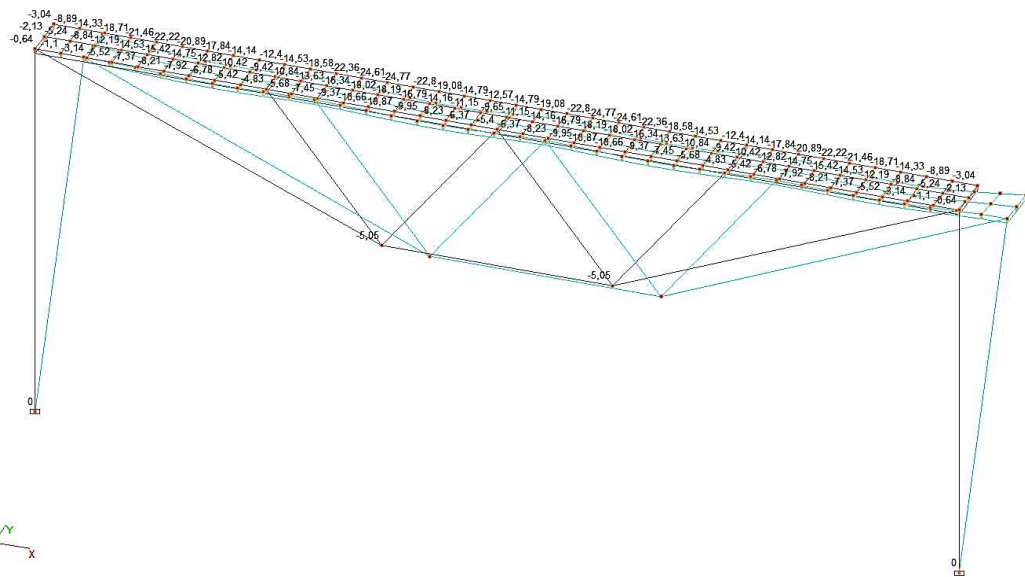


Рисунок 3.24 - Переміщення вихідної схеми z, мм

Як видно з рисунка 3.24, максимальне переміщення $z = -27,55$ мм.
Граничний прогин для 18м, $f_u = 1/240 = 75$ мм.

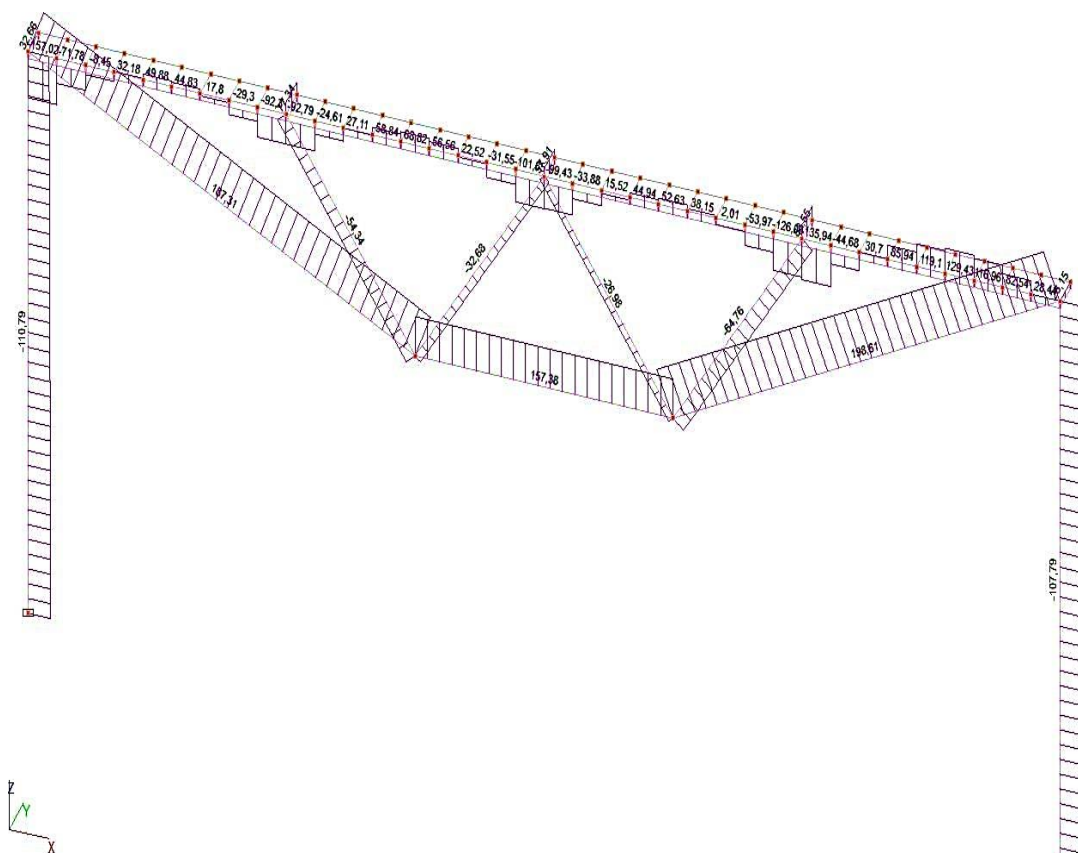


Рисунок 3.25 - Поздовжні зусилля вихідної схеми $N = 236,02$ кН

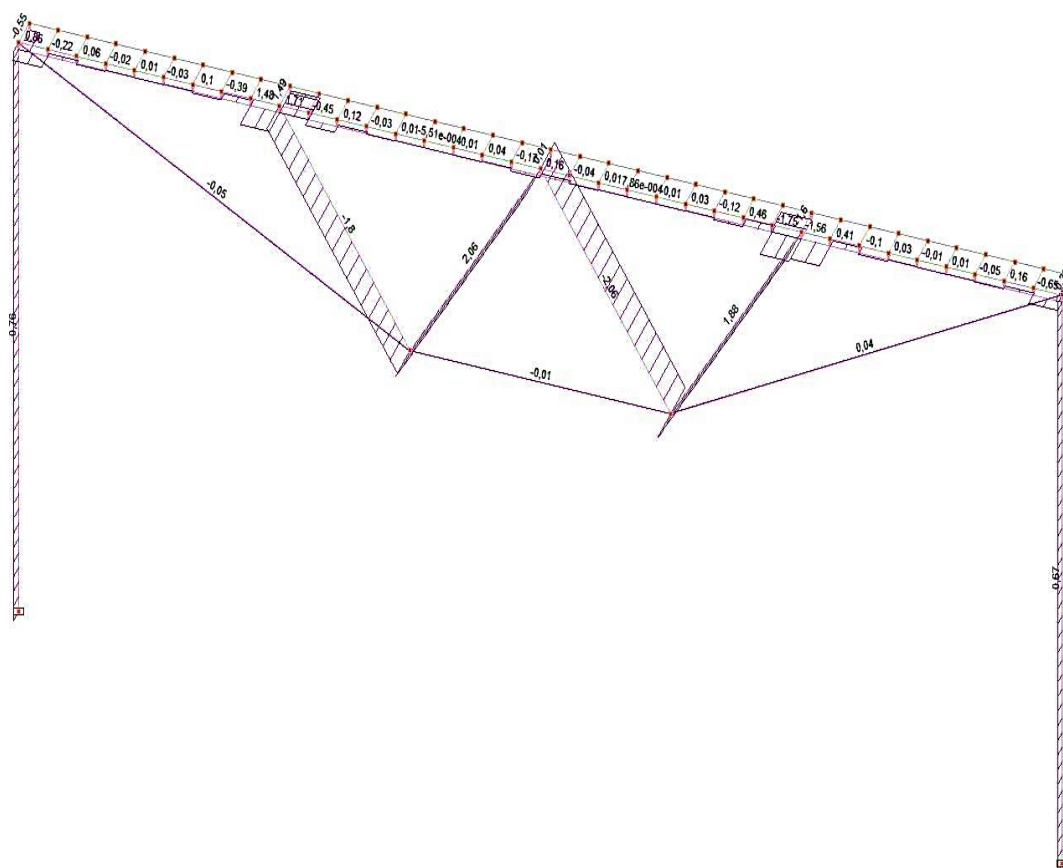


Рисунок 3.26 - Епюра поперечних сил (max Q = -2,07 Н)

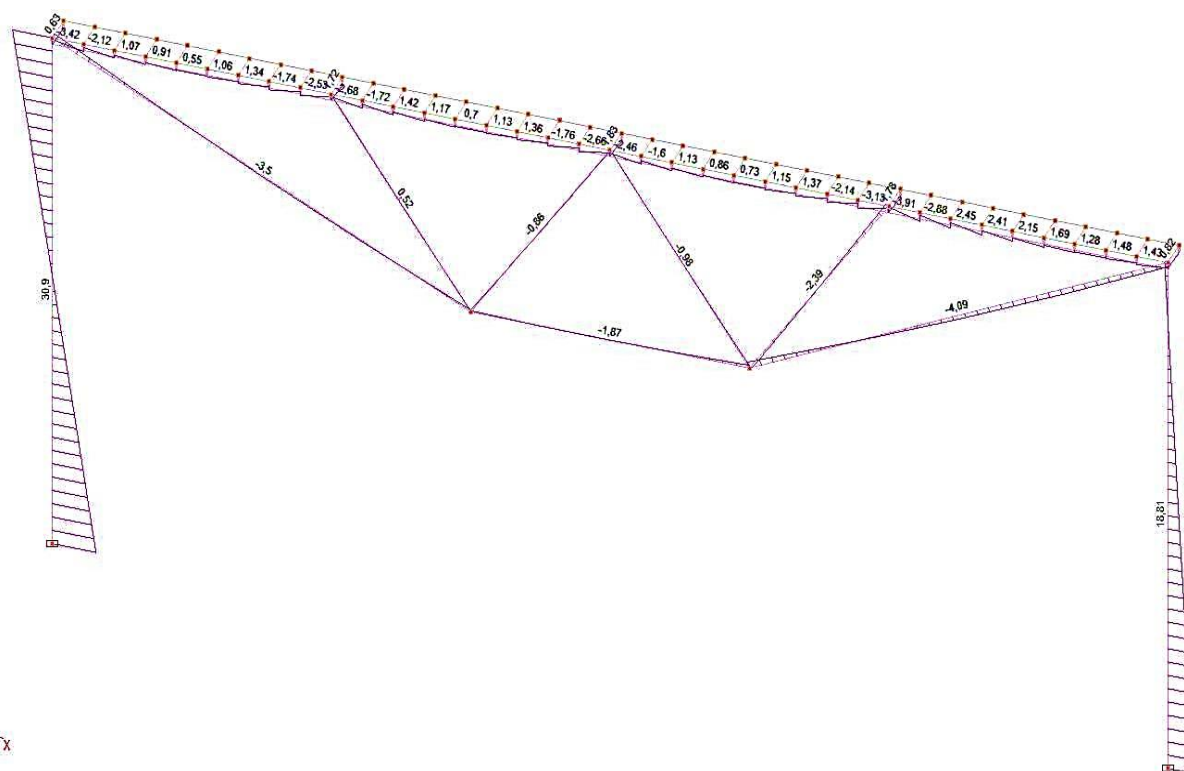


Рисунок 3.27 - Епюра згинальних моментів M_y (максимальний момент - 39,66 кН*м)

3.3 Регулювання комбінованої блок-ферми покриття

Аналіз НДС вихідної системи показує, що можливе розв'язання задачі регулювання у вигляді зменшення максимального прогину системи.

Постановка задачі регулювання. Критерій регулювання прийемо у вигляді

$$W_{OK} = 9,3 \text{ мм} \quad (3.1)$$

Як параметр регулювання прийемо X^{Π} - повне зусилля в затягуванні шпренгеля, за якого виконується умова (1).

Шляхом попереднього напруження двох симетричних елементів нижнього поясу шпренгеля, зменшимо величину максимального прогину відповідно до критерію 1.

Як параметр регулювання візьмемо зусилля X^{Π} (рис. 3.28).

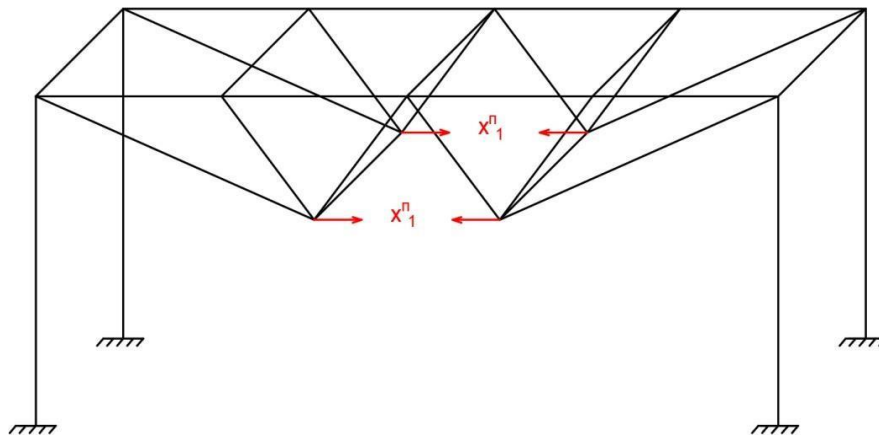


Рисунок 3.28 - Варіант регулювання

Постановка задачі регулювання

Шляхом попереднього напруження двох симетричних елементів нижнього поясу шпренгеля X^{Π} , зменшимо величину максимального прогину до 6,5 мм.

Розв'язання задачі регулювання

Спочатку виконаємо розрахунок на одиничний вплив параметра

регулювання $X^{III} = 1 \text{ кН}$ зміненої розрахункової схеми (рис. 3.29-3.33).

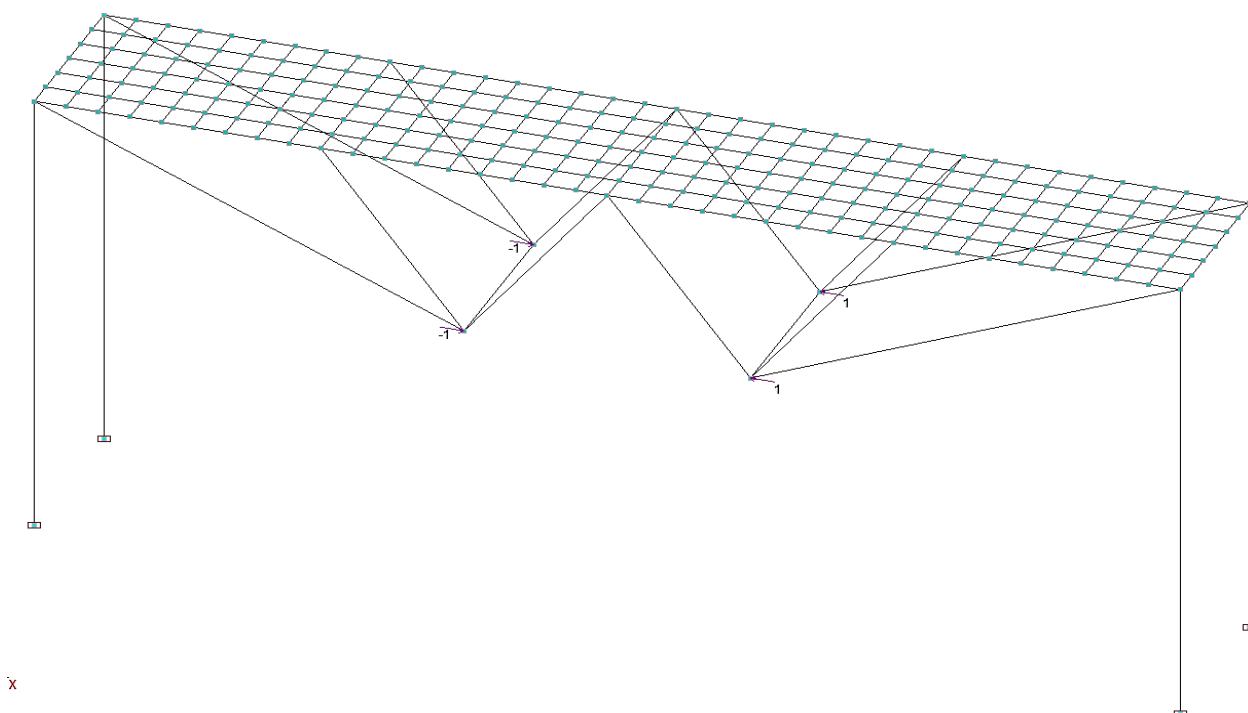


Рисунок 3.29 - Розрахункова схема

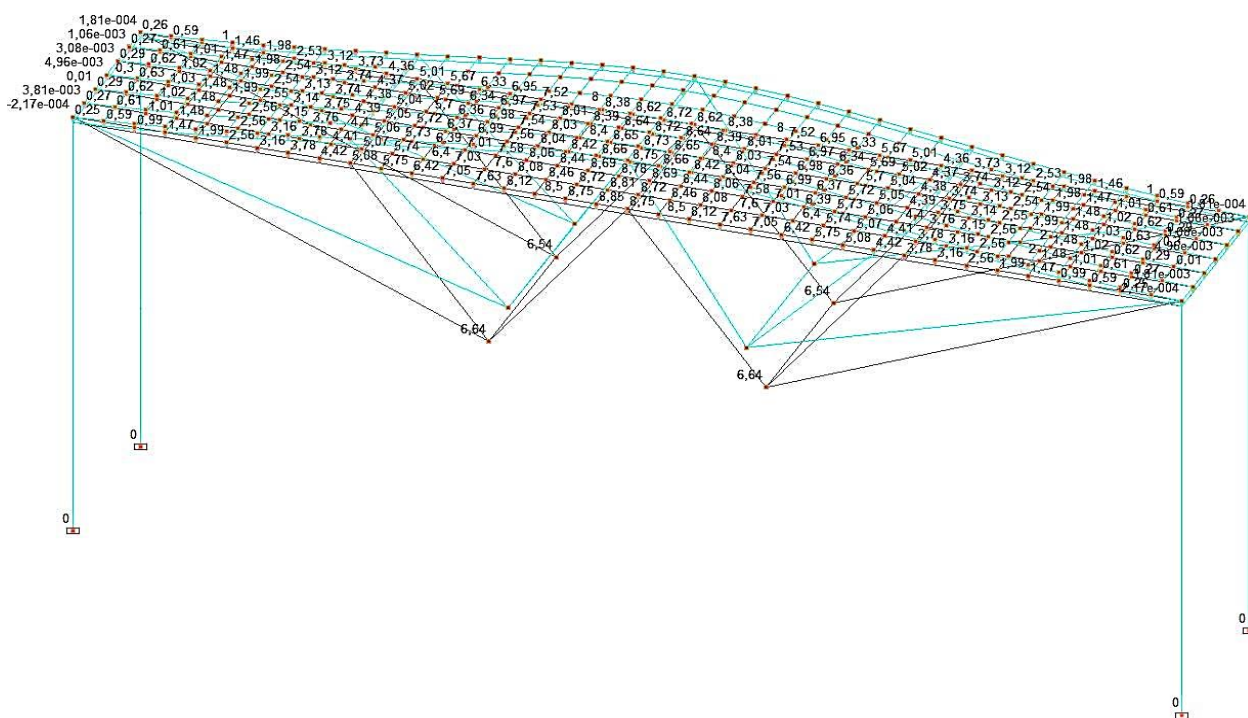


Рисунок 3.30 - Переміщення від $X_1 = 1 \text{ кН}$, $z = 8,85 \text{ мм}$

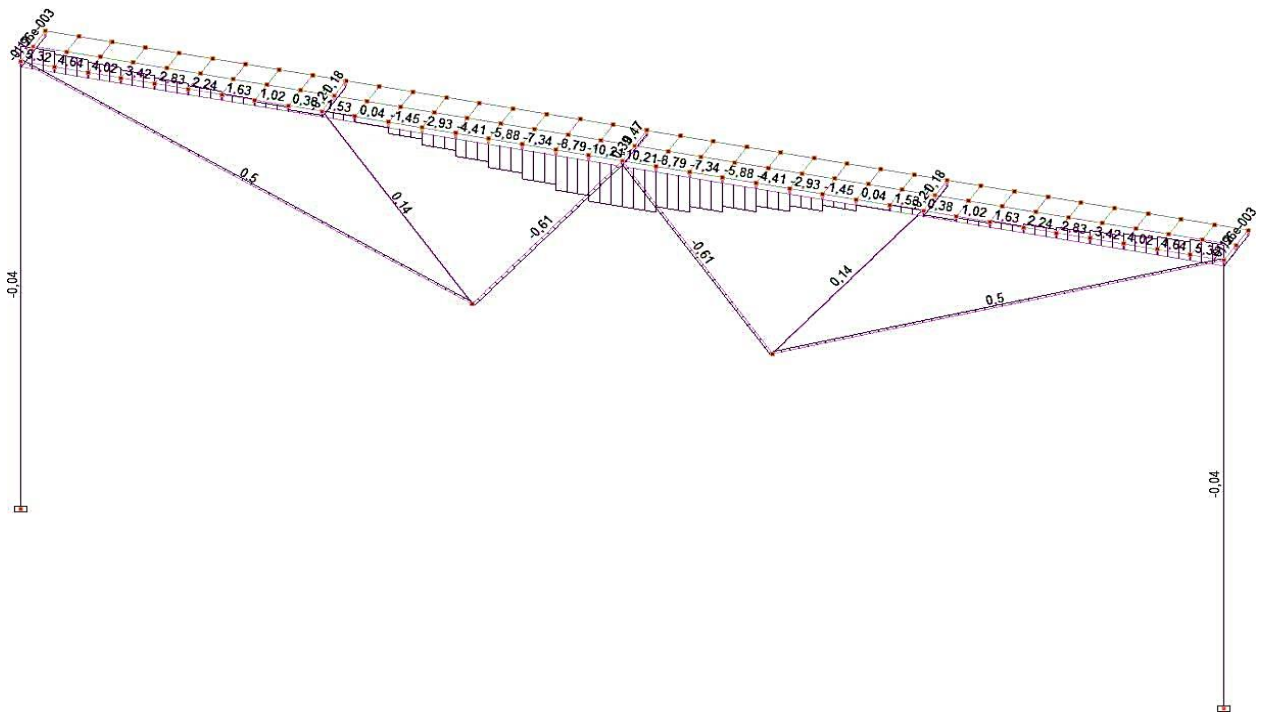


Рисунок 3.31 - Поздовжні зусилля від $X_1 = 1 \text{ кН}$, (max - $N = 10,45 \text{ кН}$)

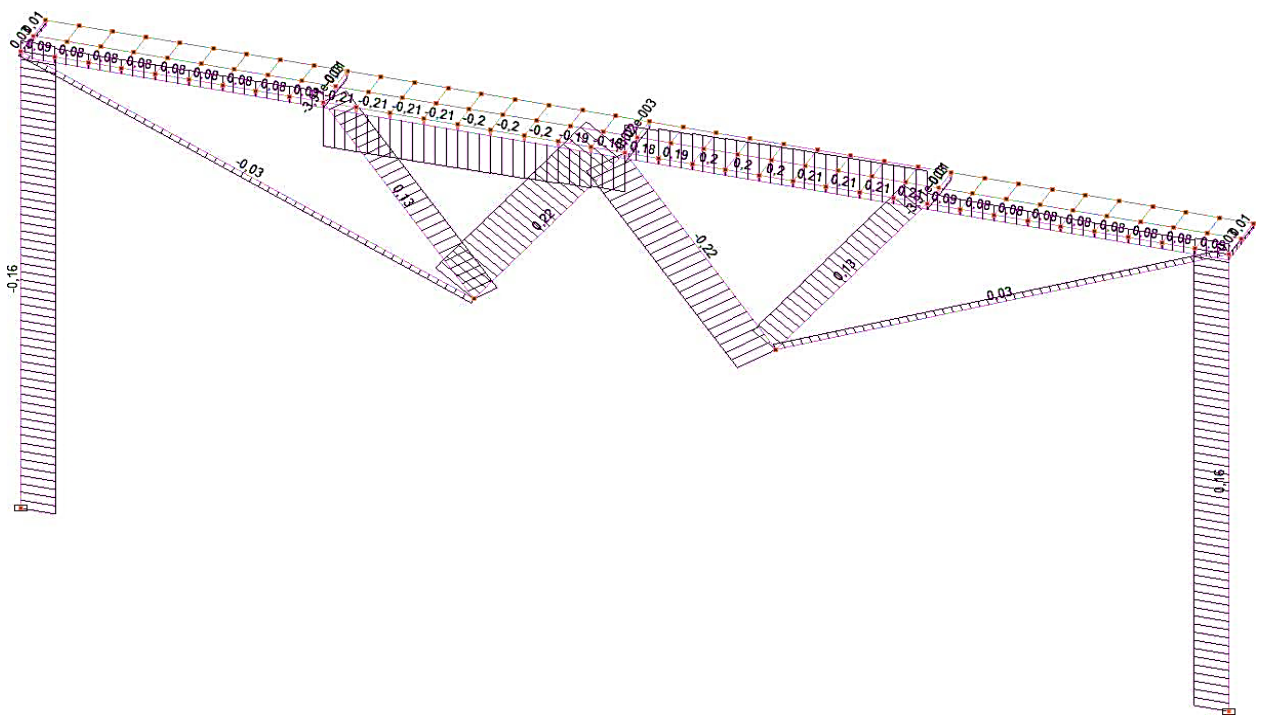


Рисунок 3.32 - Епюра поперечних сил від $X_1 = 1 \text{ кН}$, (max - $Q = 0,22 \text{ кН}$)

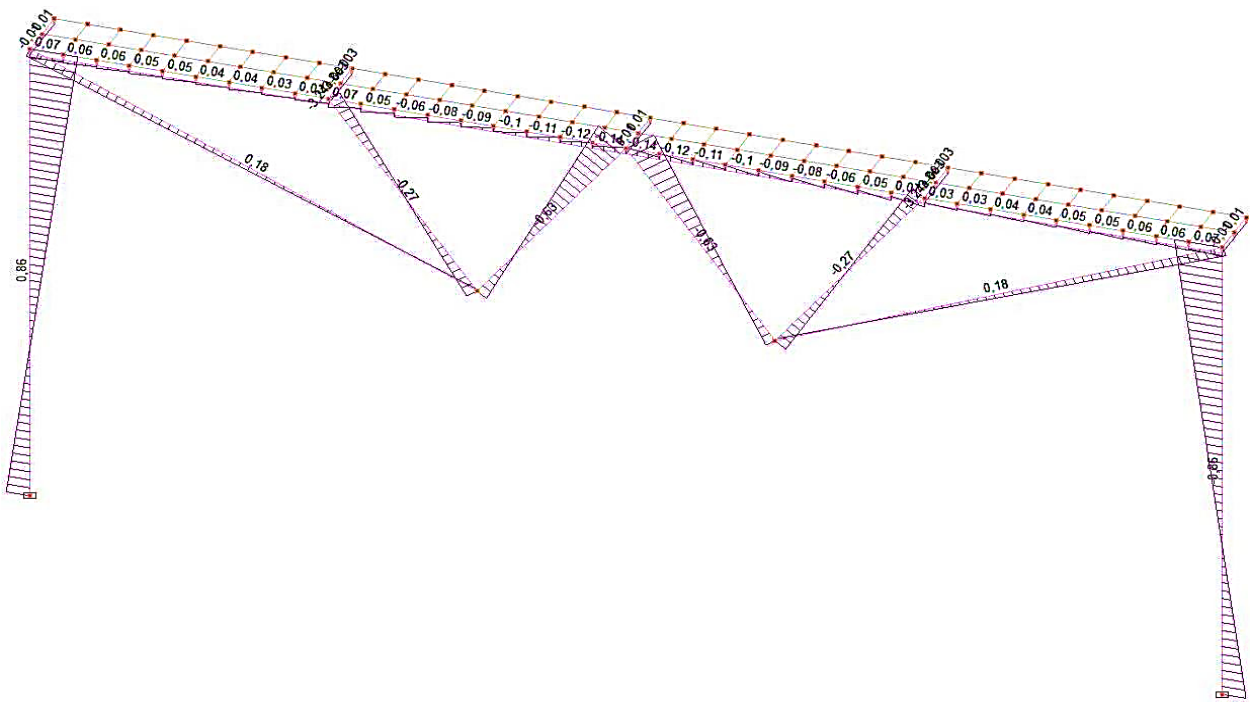


Рисунок 3.33 - Епюра згинальних моментів від $X_1 = 1\text{кН}$, ($\text{max} - M_y = 0,91\text{кН*м}$)

Далі розрахуємо на задане навантаження у змінній розрахунковій схемі. Отримані результати показано на (рис.3.34- 3.37).

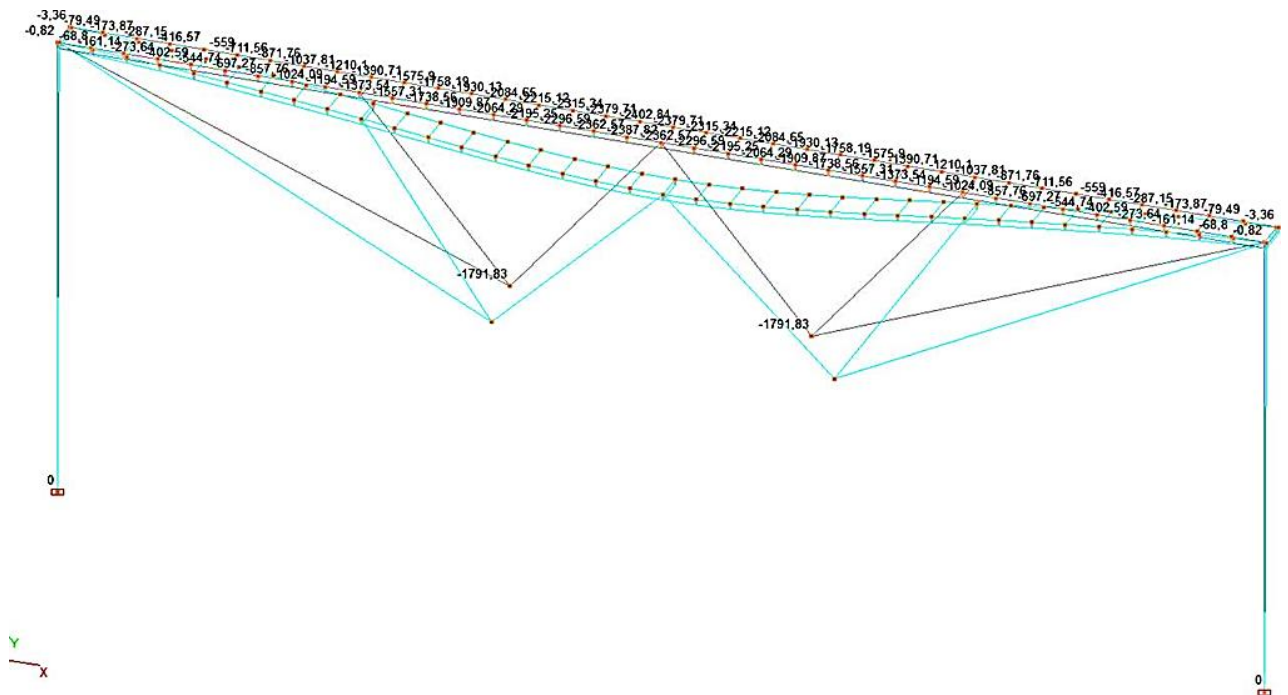


Рисунок 3.34 - Переміщення від заданого навантаження, $z = -2733,44\text{мм}$

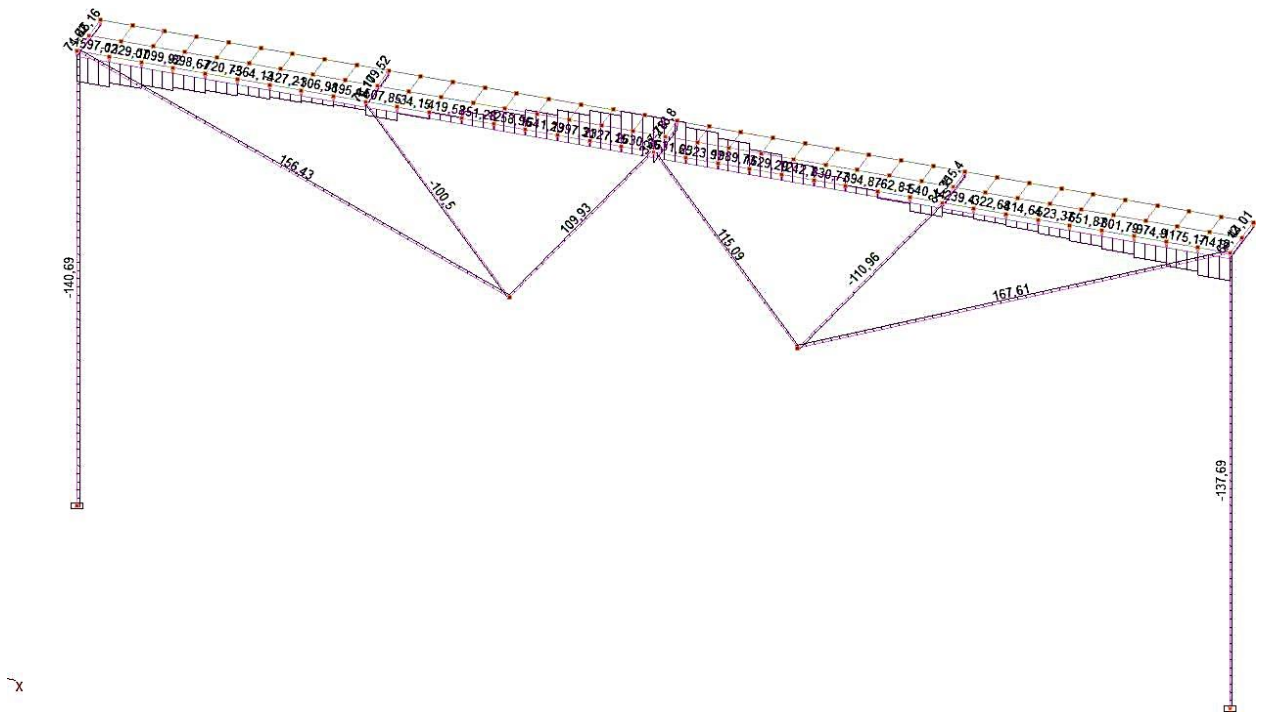


Рисунок 3.35 - Поздовжні зусилля, (max - $N = 3082,63$ кН)

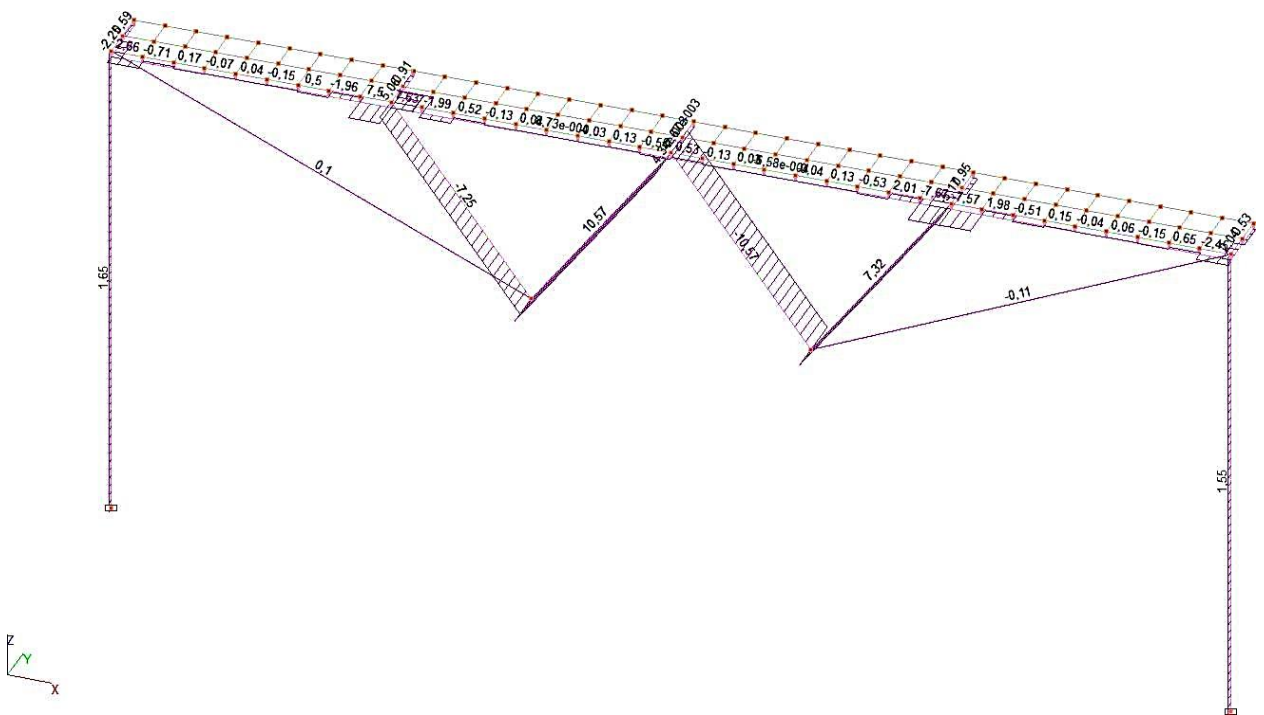


Рисунок 3.36 - Епюра поперечних сил, (max - $Q = 14,32$ кН)

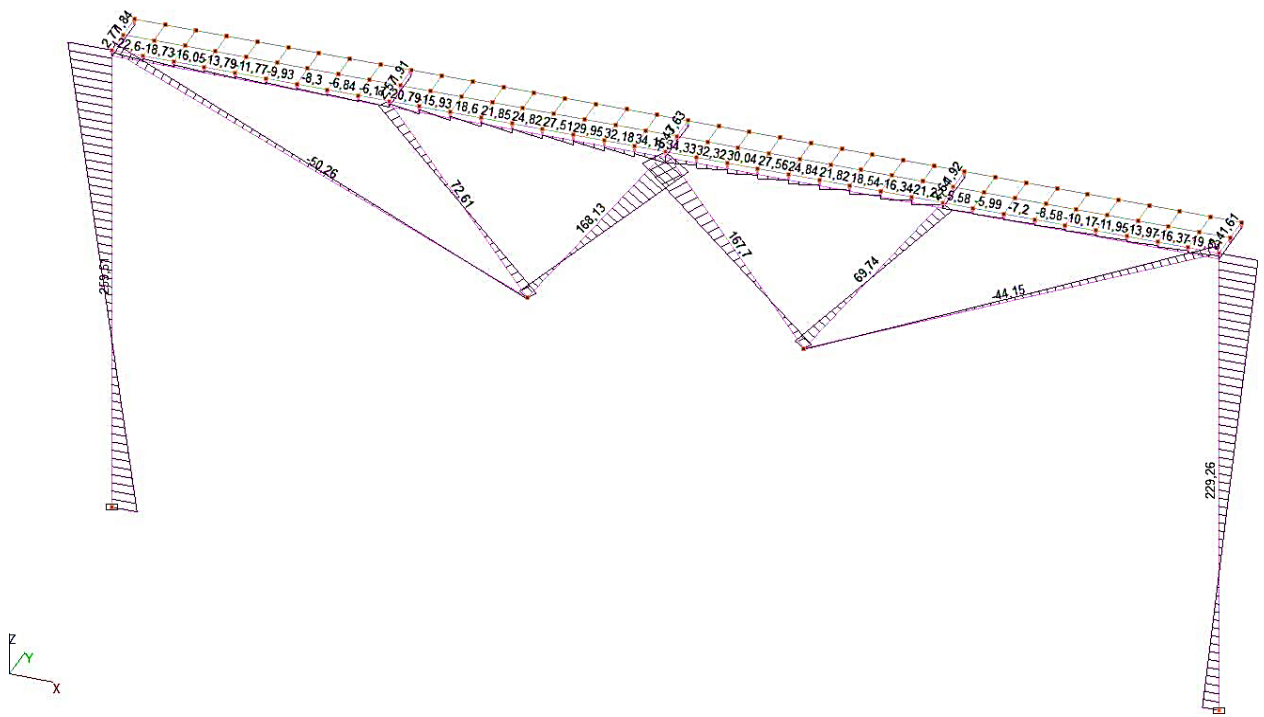


Рисунок 3.37 - Епюра згинального моменту, $M_y = 320,87 \text{ кН*м}$

Далі, використовуючи принцип незалежності дії сил, представимо критерій регулювання у вигляді:

$$W_{OK} = W_P + W_1 \cdot X^{\text{II}} = -9,3 \text{ мм} \quad (3.2)$$

$W_1 = -8,85 \text{ мм}$; $W_P = -2733,44 \text{ мм}$ отримано у змінній схемі Підставивши значення прогинів у рівняння (3.2), отримаємо $(-2733,44) - 8,85 \cdot X^{\text{II}} = -9,3 \text{ мм}$.

Розв'язавши це рівняння, визначимо параметр регулювання.

$$X_1^{\text{II}} = 307,28 \text{ кН}$$

Для отримання остаточного рішення виконаємо розрахунок зі зміненою розрахунковою схемою на одночасну дію заданого навантаження і знайдене значення параметра регулювання $X^{\text{II}} = 3017,28 \text{ кН}$ (рис. 3.38), які отримані результати (рис. 3.39-3.44).

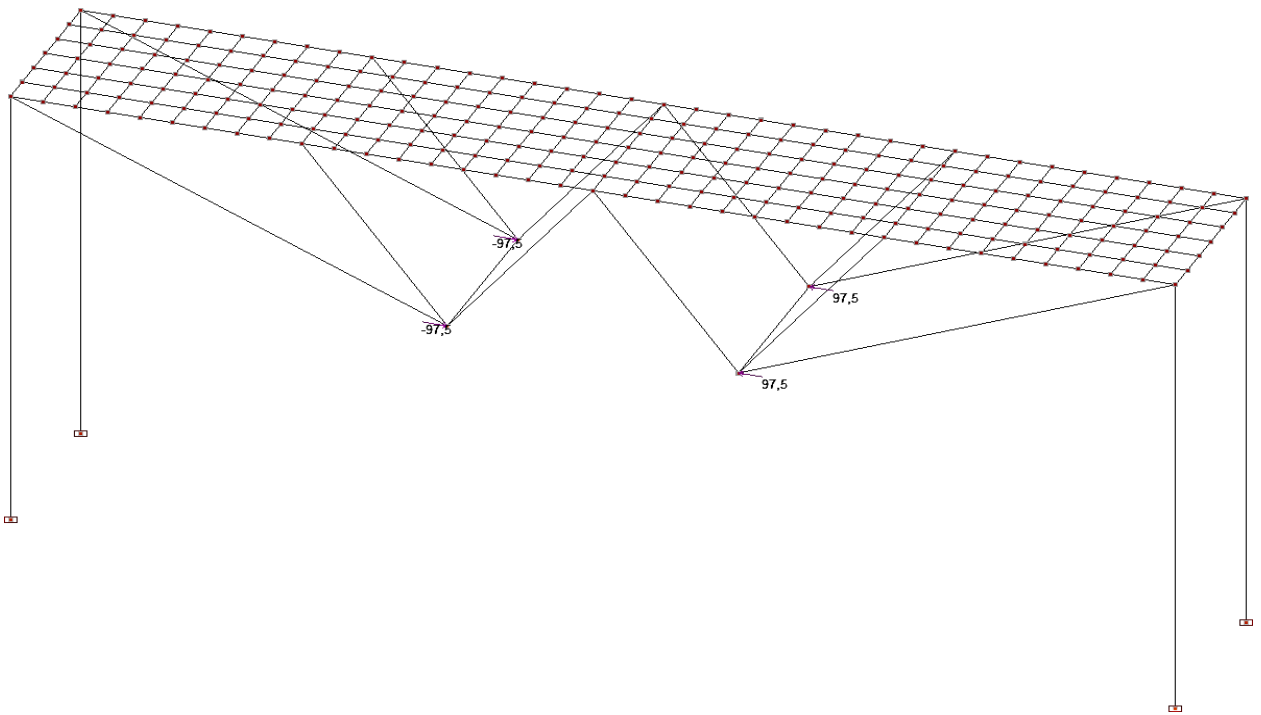


Рисунок 3.38 - Знайдене значення параметра регулювання $X^{\text{II}}_1 = 307,28 \text{ кН}$

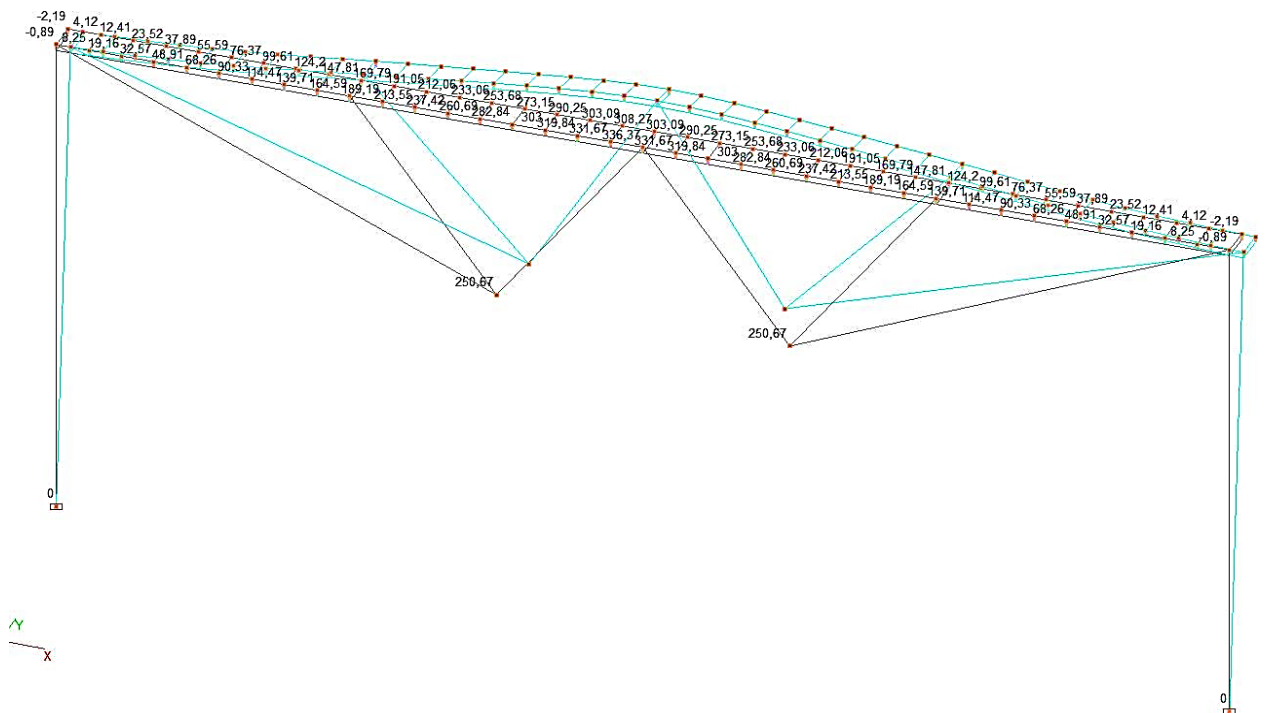


Рисунок 3.39 - Переміщення, $z_{\text{ок}} = -15,08 \text{ мм}$

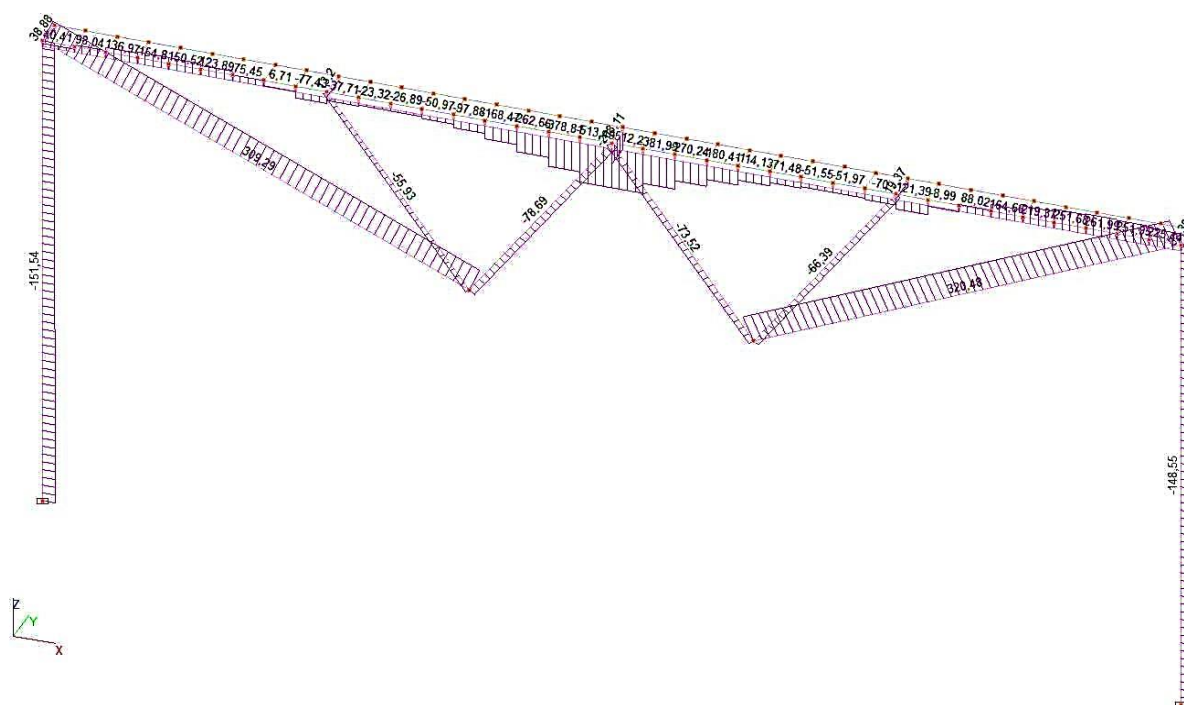


Рисунок 3.40 - Поздовжні зусилля, (max - $N_{ок} = 523,54$ кН)

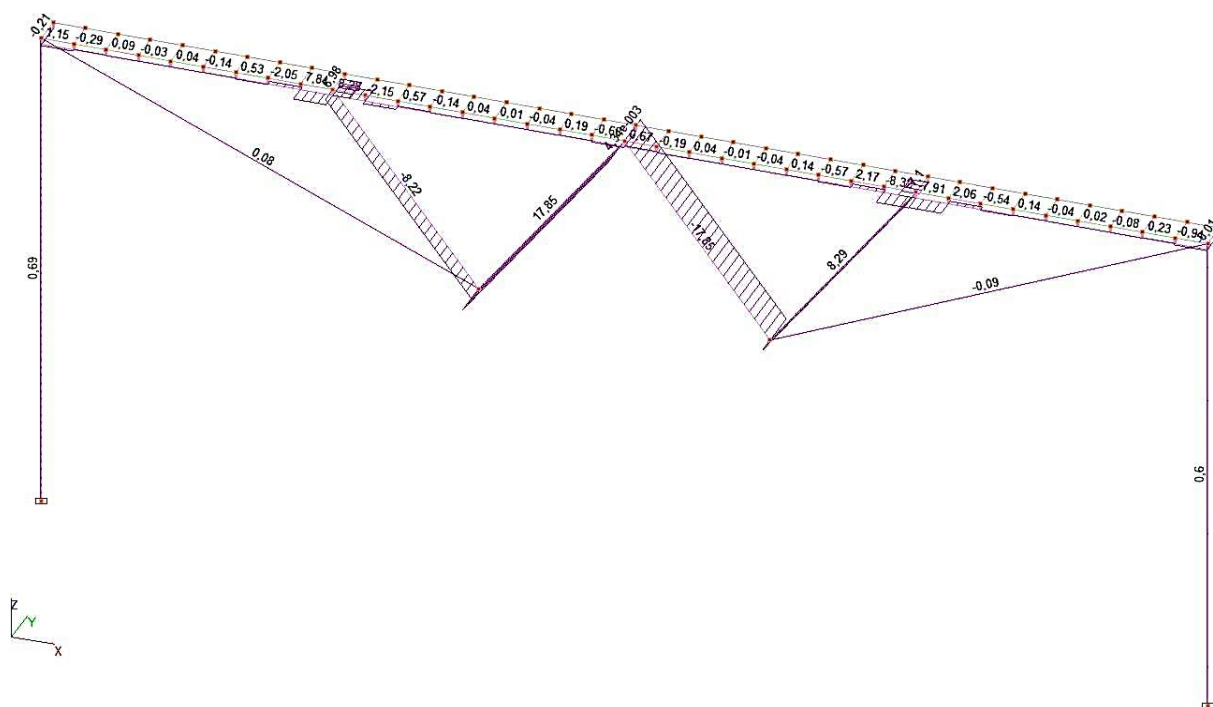


Рисунок 3.41 - Епюра поперечних сил, (max - $Q_{ок} = 18,03$ кН)

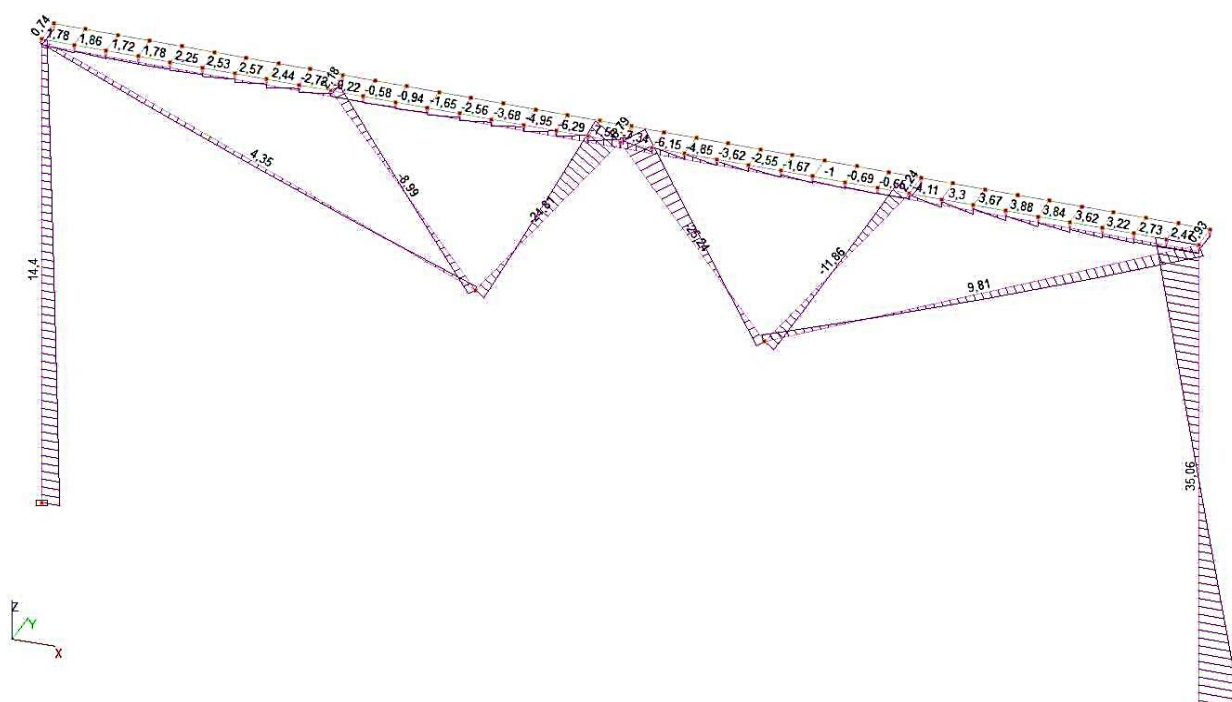


Рисунок 3.42 - Епюра згинальних моментів, (max - $M_{OK} = 47,93 \text{ кН*м}$)

3.4 Висновки до розділу 3

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що найвигіднішим підкріпленням є шпренгельна плита з 1-им варіантом підкріплення.

Отримані результати розрахунків показують, що шляхом попереднього напруження двох симетричних елементів нижнього пояса шпренгеля вдалося зменшити прогин у розрахунковій точці (вузлі 582) до $W_{OK} = -15,08 \text{ мм}$. Але при цьому максимальний згинальний момент став рівним, $M_{x,OK} = 47,93 \text{ кН*м}$, трохи збільшився, максимальне напруження, $Q_{OK} = 18,03 \text{ кН}$ збільшилось у 9 разів, максимальне значення поздовжнього зусилля $N = 523,54 \text{ кН}$ теж збільшилось у 2 рази.

РОЗДІЛ 4

РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ПРИКЛАДІ КОМБІНОВАНОЇ БЛОК- ФЕРМИ ПОКРИТТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ANSYS

Ефективність просторових конструкцій на основі деревини порівняно з площинними конструкціями давно відома. При цьому, зі збільшенням прольотів ефективність зростає. Легкість конструкцій із дерева дає можливість (за рівності сумарної ваги) перевезти їх у п'ятеро більше порівняно із залізобетонними, а отже, майже у п'ятеро скоротити витрати на ці цілі.

У зв'язку з цим, видається вельми важливим проводити технічну політику, що орієнтує виробників і споживачів на застосування сучасних ефективних просторових конструкцій, зокрема блочного типу: плит на проліт, блок-ферм, блок-арок покриттів.

4.1 Конструкції досліджуваної блок-ферми покриття

У даній кваліфікаційній роботі досліджується напружено- деформований стан комбінованої блок-ферми покриття.

Верхній пояс складається з плити з фанерною обшивкою по дерев'яному дощатому каркасу. Елементи нижнього поясу, розтягнуті розкоси, підвіски пропонується виконувати з круглої сталі. Стиснуті елементи решітки запроектовані з парних стійок.

Ширина конструкції - 3 м. Висота - 3 м. Проліт - 18 м.

Вибір сорту, вологості та розрахункових опорів деревини, типу і марки клею.

Приймаємо для дерев'яних елементів деревину хвойних порід - соснові пиломатеріали.

За нормальної постійної вологості всередині опалювальних приміщень

температурно-вологісні умови експлуатації конструкцій, згідно з таблицями А [1] експлуатаційна вологість деревини не повинна перевищувати 12 %, $m_v = 1$.

Розрахункові опори деревини сосни першого сорту призначаємо з урахуванням необхідних коефіцієнтів умов роботи.

Збір навантажень на блок-ферму:

Постійне навантаження;

Навантаження від власної ваги металевих конструкцій. Навантаження від власної ваги металевих конструкцій задаємо в програмному комплексі з коефіцієнтом надійності по навантаженню, що дорівнює 1,05.

Нормативне значення навантаження від огорожувальної конструкції покриття становить $0,13 \text{ т/м}^2$. Коефіцієнт надійності за навантаженням дорівнює 1,4. Розрахункове значення навантаження від огорожувальної конструкції покриття становить $0,176 \text{ т/м}^2$, отже снігове навантаження становить $0,176 \cdot 3 = 0,528 \text{ т/м}^2$.

Заходи щодо захисту елементів блок-ферми.

Конструктивні рішення будівель і споруд повинні забезпечувати можливість періодичного огляду дерев'яних конструкцій і відновлення захисних покриттів.

Захист дерев'яних конструкцій від корозії, спричиненої впливом біологічних агентів, передбачає антисептування, консервування, покриття лакофарбовими матеріалами або поверхневе просочення складами комплексної дії.

Застосовувані в конструкціях металеві елементи слід захищати від корозії.

У разі спирання несучих дерев'яних конструкцій на конструкції з інших матеріалів необхідно передбачати встановлення гідроізоляційних прокладок.

Захисну обробку дерев'яних елементів проводити після вибірки гнізд, зняття фасок, свердління отворів. Елементи суцільного перерізу - щит і елементи зв'язків покрити - вогнебіозахисним покриттям. Клеєні елементи - обробити за 2 рази пентафталевою емаллю ПФ115 - лакофарбове вологостійке покриття. Торці елементів обмазати герметиком товщ.-30м. Металеві деталі пофарбувати за 2 рази

пентафталевою емаллю ПФ115 по ґрунтовці.

4.2 Скінченно-елементна модель комбінованої блок-ферми покриття в програмному комплексі ANSYS

На першому етапі створюється основа скінченно-елементної моделі досліджуваної блок-ферми.

Фізичний тип задачі - механіка деформівного тіла.

Задаємо тип кінцевого елемента залежно від розмірності об'єкта та інших його властивостей.

Конструкції прогонової будови: плита змодельована вузловими скінченними оболонковими елементами SHELL, що працюють на розтягнення-стиснення і вигин у двох напрямках; елементи стійок, зтяжок, поперечних балок представлені балковими елементами BEAM.

Під час виконання роботи враховуємо геометричну нелінійність і критерій руйнування Друкера - Прагера.

Врахування нелінійної роботи конструкції дає змогу здійснювати побудову адекватних розрахункових схем, виявляти додаткові резерви несучої здатності, знижувати матеріаломісткість, забезпечувати конструктивну безпеку, здійснювати моделювання процесів життєвого циклу конструкцій - процес навантажування, процес зведення, процес зміни НДС конструкції в часі, стійкість від прогресуючого обвалення.

Геометрична нелінійність - має місце, коли переміщення конструкції спричиняють значну зміну її геометрії, тож рівняння рівноваги доводиться складати з урахуванням зміни форми і розмірів конструкції, тобто за деформованою схемою.

Під час моделювання блок-ферми використовували матеріали з бібліотеки ANSYS.

Просторова стрижнева модель комбінованої блок-ферми покриття зображена на рисунку 4.1.

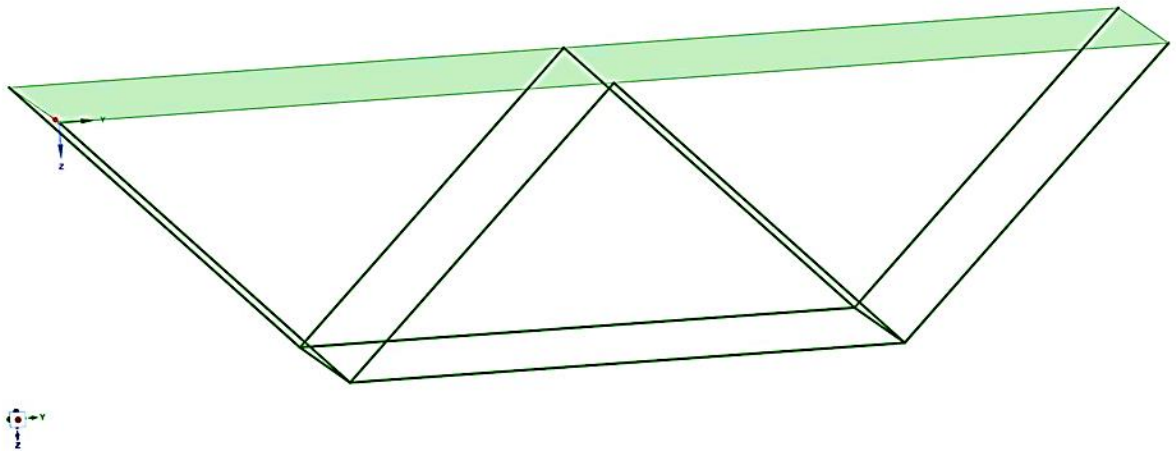


Рисунок 4.1 - Просторова стрижнева модель комбінованої блок- ферми покриття

Згенерована сітка моделі блок-ферми покриття зображена на рисунку 4.2.

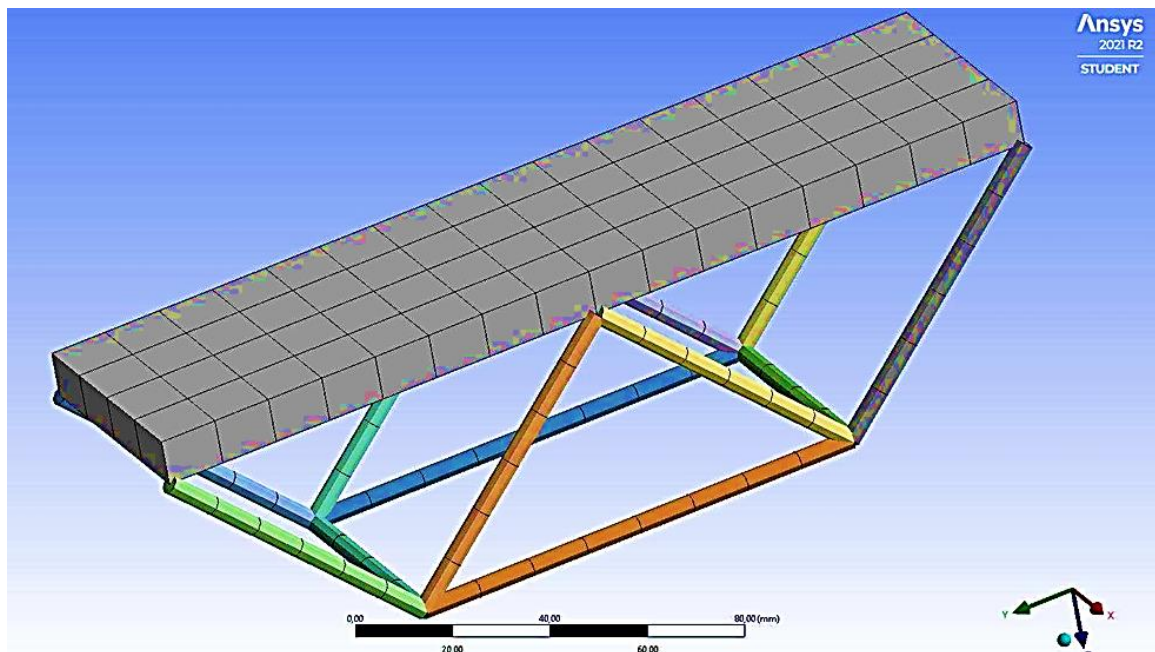


Рисунок 4.2 - Згенерована сітка моделі блок-ферми

Для розрахункової схеми було прийнято такі граничні умови:

- тип граничних умов: На опорах задавалися шарнірно рухомий (праворуч) і нерухомий (ліворуч) зв'язки (Remote Displacement), які забезпечують фіксацію блок-ферми у вертикальному положенні;

– тип граничних умов: враховуємо власну вагу конструкцій і задаємо за допомогою Standard Earth Gravity і тимчасове навантаження - снігове навантаження 0,5МПа (Pressure).

На рисунку 4.3 зображено схему завантаження моделі блок-ферми покриття.

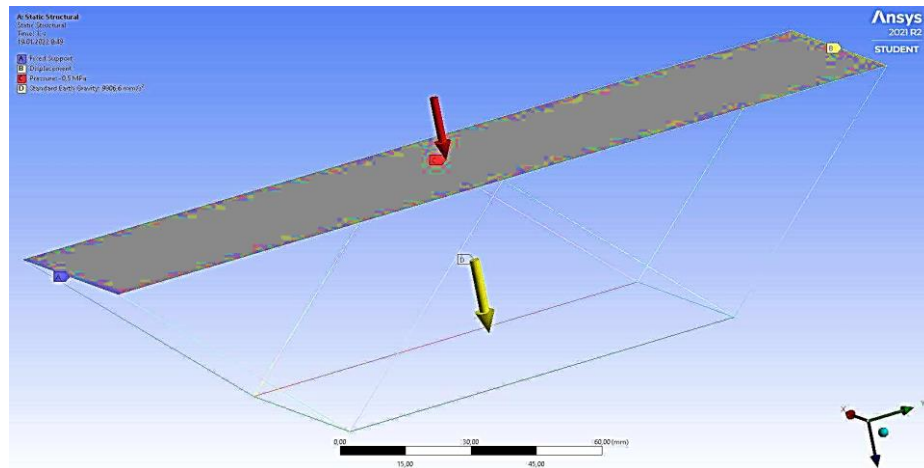


Рисунок 4.3 - Схема завантаження моделі блок-ферми покриття

Для статичного розрахунку використовуємо модуль Static Structural, який виконує статичний міцнісний розрахунок конструкцій.

Вирішуємо кроковим методом, кількість кроків навантаження 1.

4.3 Чисельне дослідження напружено-деформованого стану моделі комбінованої блок-ферми покриття шляхом попереднього напруження нижнього поясу

Для розв'язання задачі регулювання НДС блок ферми покриття попереднім напруженням слід виконати такі розрахунки в програмному комплексі ANSYS:

- статичний розрахунок стрижневої розрахункової схеми блок-ферми;
- статичний розрахунок стрижневої розрахункової схеми блок- ферми з урахуванням геометричної нелінійності;
- статичний розрахунок стрижневої розрахункової схеми блок- ферми з урахуванням геометричної нелінійності та попереднього напруження.

4.3.1 Статичний розрахунок стрижневої розрахункової схеми блок-ферми

На рисунку 4.4 представлено загальні переміщення блок-ферми покриття під час впливу статичного навантаження від власної ваги конструкції і навантаження від снігу 0,5 МПа на весь проліт.

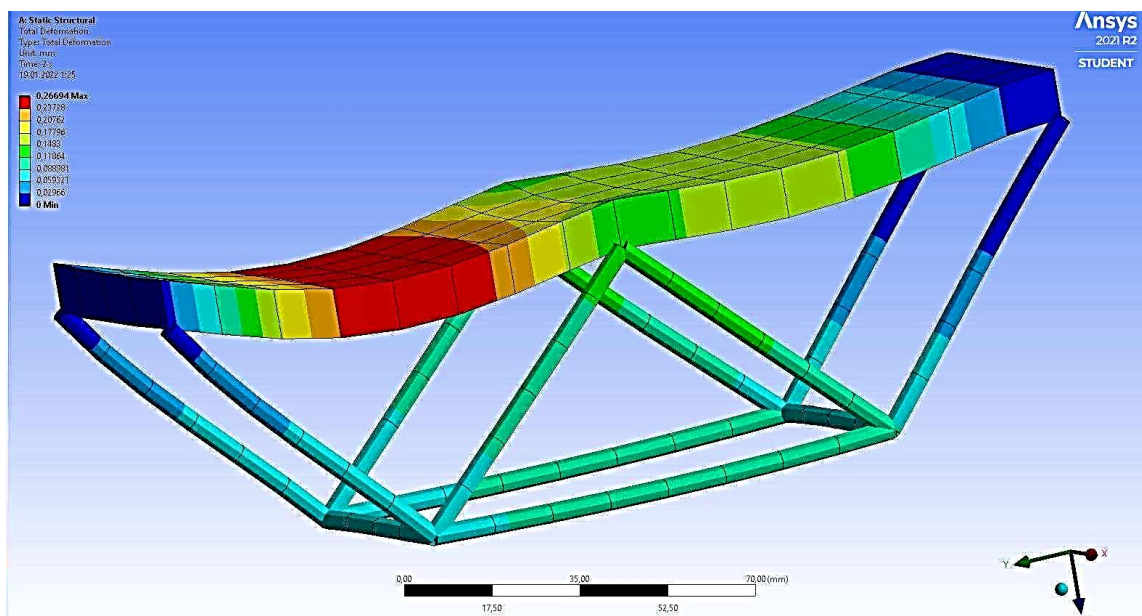


Рисунок 4.4 - Загальні переміщення, мм

Максимально граничний прогин 75 мм. Значення максимального переміщення 0,27 мм, що не перевищує гранично допустимого.

На рисунку 4.5 представлено значення напружень у плиті моделі блок-ферми покриття під час впливу статичного навантаження від власної ваги конструкції і навантаження від снігу 0,5 МПа на весь проліт.

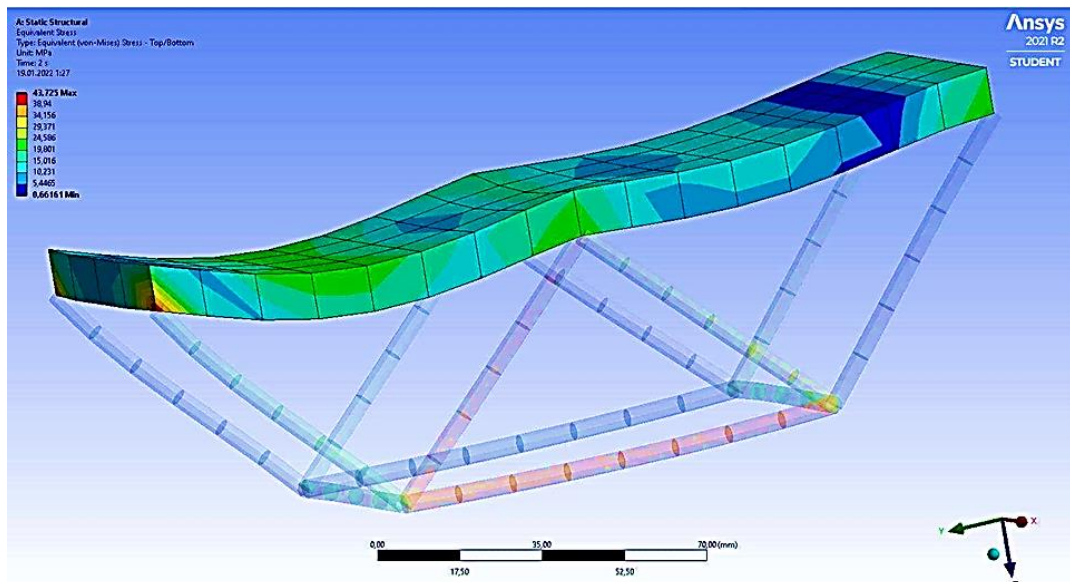


Рисунок 4.5 - Напруження в плиті моделі блок-ферми під час статичного розрахунку без урахування геометричної нелінійності, МПа

Максимальне значення напруги, що виникає в плиті $\sigma_{\max} = 43,72$ МПа.

На рисунку 4.6 представлено значення напружень сталевих елементів моделі блок-ферми покриття під час впливу статичного навантаження від власної ваги і навантаження від снігу 0,5 МПа на весь проліт.

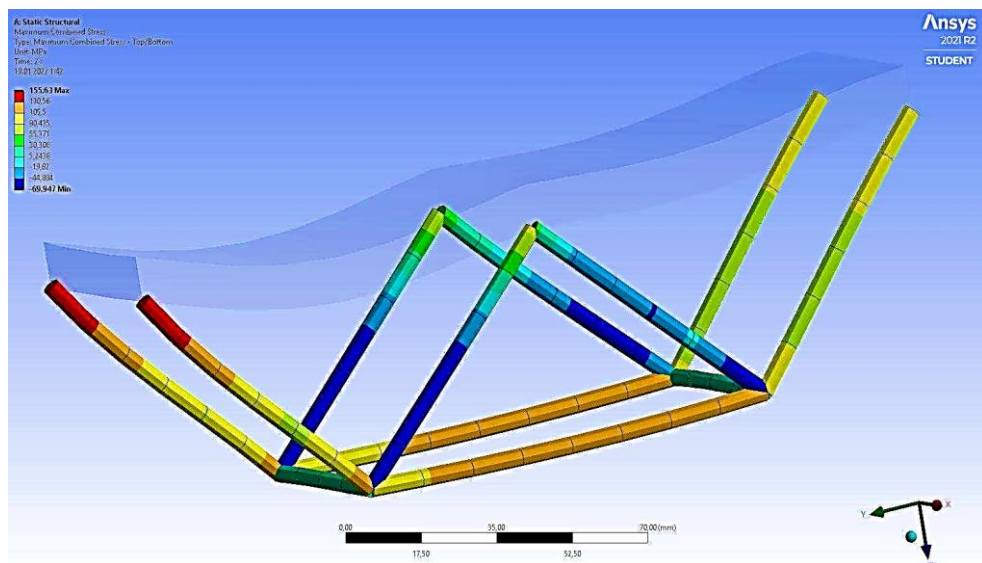


Рисунок 4.6 - Напруження сталевих елементів моделі під час статичного розрахунку без урахування геометричної нелінійності, МПа

Максимальне значення напруження $\sigma_{\max} = 155,63$ МПа.

На рисунку 4.7 представлено значення згинального моменту моделі блок-ферми покриття під час впливу статичного навантаження від власної ваги і навантаження від снігу 0,5 МПа на весь проліт.

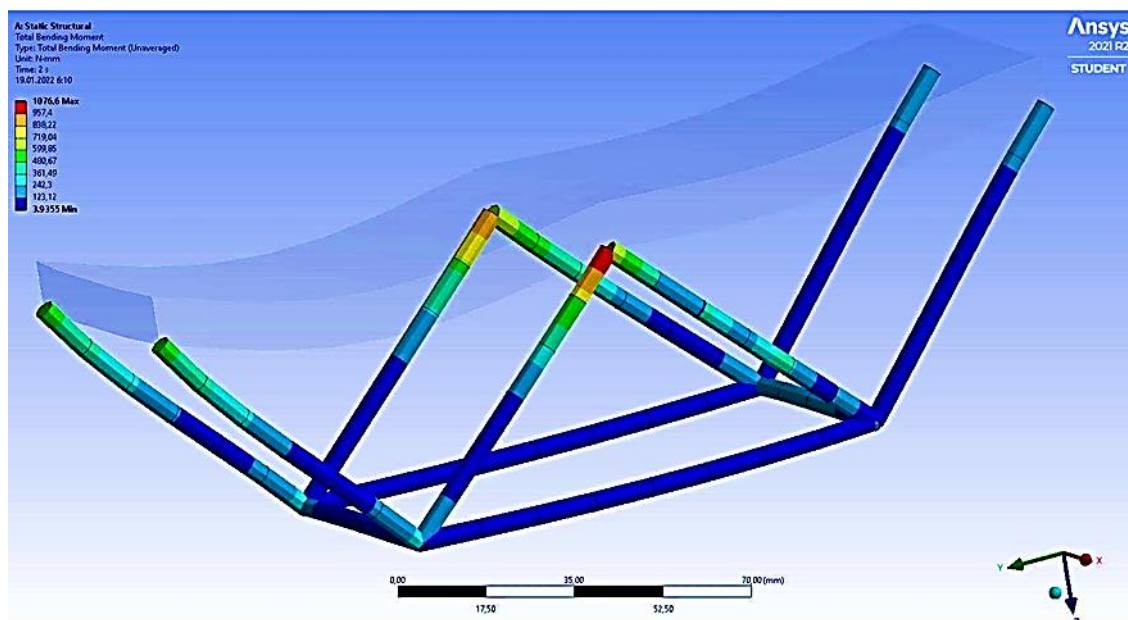


Рисунок 4.7 - Згинальний момент під час статичного розрахунку без урахування геометричної нелінійності, Н-мм

Максимальний згинальний момент $M_{\max} = 1076,6$ Н-мм.

Результати статичного розрахунку моделі пішохідного аркового моста без урахування геометричної нелінійності подано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Результати статичного розрахунку без урахування геометричної нелінійності

Результати статичного розрахунку	Значення
Максимальні переміщення, мм	0,27
У плиті σ_{\max} , МПа	43,72
У сталевих елементах σ_{\max} , МПа	155,63
M_{\max} , Н-мм	1076,6

4.3.2 Статичний розрахунок стрижневої розрахункової схеми блок-ферми з урахуванням геометричної нелінійності

На рисунку 4.8 представлено загальні переміщення блок-ферми покриття під час впливу статичного навантаження від власної ваги конструкції і навантаження від снігу 0,5 МПа на весь проліт з урахуванням геометричної нелінійності.

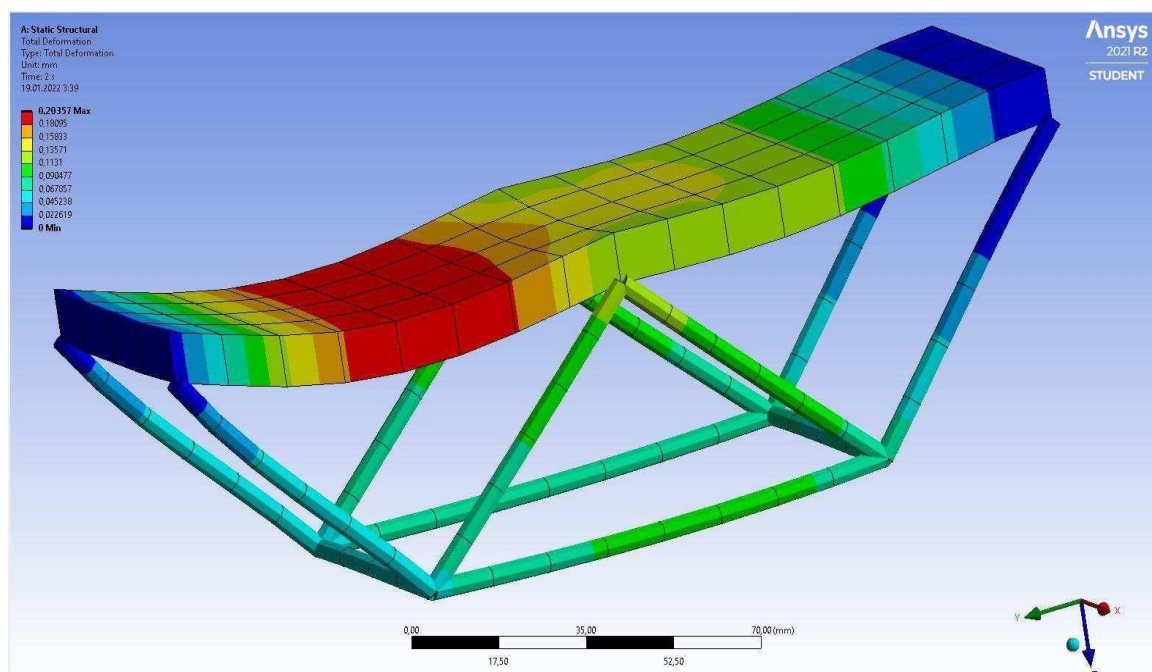


Рисунок 4.8 - Загальні переміщення з урахуванням геометричної нелінійності, мм

Значення максимального переміщення 0,20 мм, що не перевищує гранично допустимого.

На рисунку 4.9 представлено значення напружень у плиті моделі блок-ферми покриття під час впливу статичного навантаження від власної ваги конструкції і навантаження від снігу 0,5 МПа на весь проліт з урахуванням геометричної нелінійності.

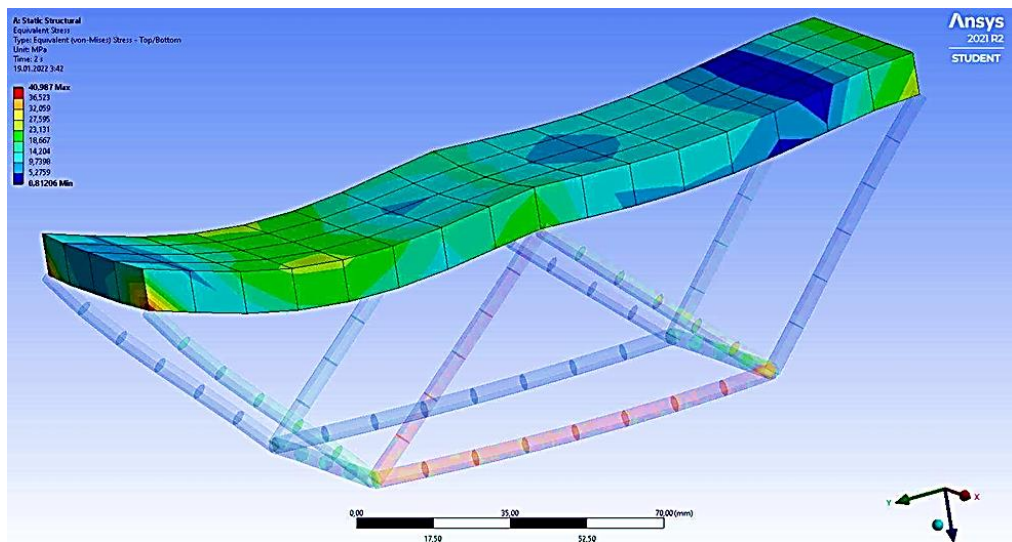


Рисунок 4.9 - Напруження в плиті моделі блок-ферми під час статичного розрахунку з урахуванням геометричної нелінійності, МПа

Максимальне значення напруги, що виникає в плиті з урахуванням геометричної нелінійності $\sigma_{max} = 40,98$ МПа.

На рисунку 4.10 представлено значення напружень сталевих елементів моделі блок-ферми покриття під час дії статичного навантаження від власної ваги і навантаження від снігу 0,5 МПа на весь проліт з урахуванням геометричної нелінійності з урахуванням геометричної нелінійності.

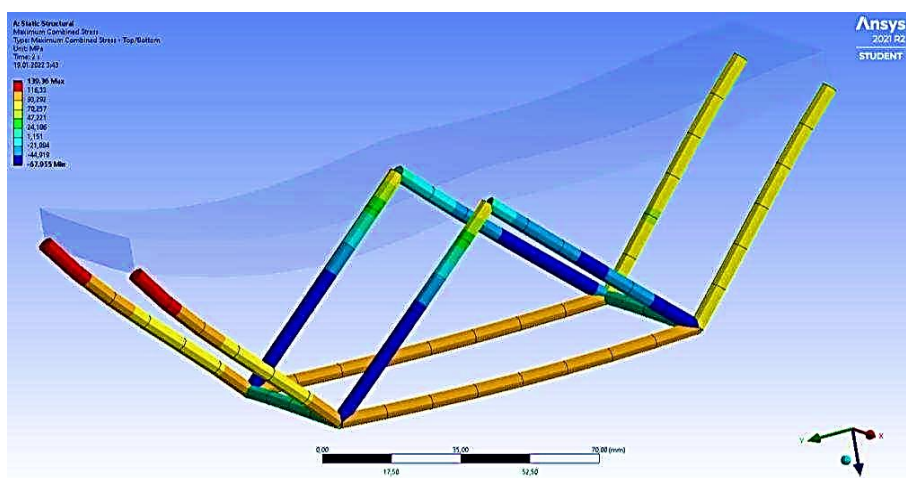


Рисунок 4.10 - Напруги сталевих елементів моделі під час статичного розрахунку без урахування геометричної нелінійності, МПа

Максимальне значення напруження з урахуванням геометричної нелінійності, МПа
 Максимальне значення напруження з урахуванням геометричної нелінійності $\sigma_{\max} = 139,36$ МПа.

На рисунку 4.11 представлено значення згинального моменту моделі блок-ферми покриття під час впливу статичного навантаження від власної ваги і навантаження від снігу 0,5 МПа на весь проліт з урахуванням геометричної нелінійності.

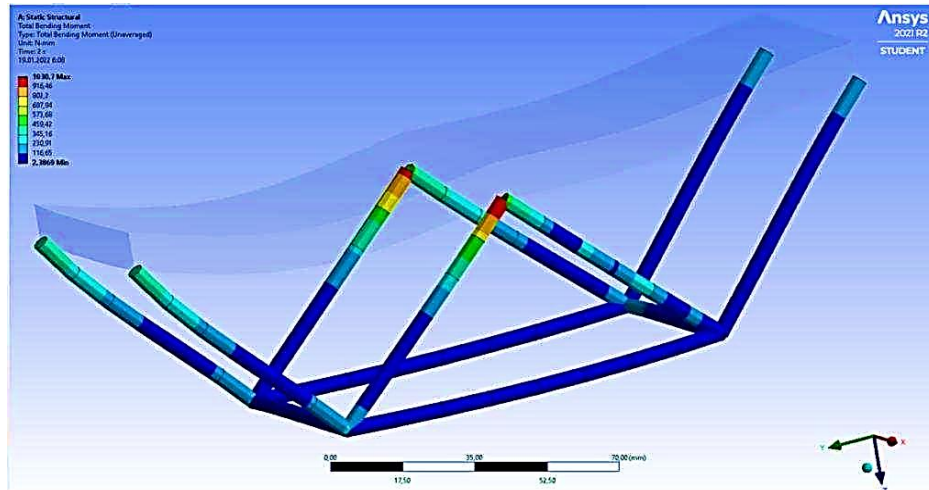


Рисунок 4.11 - Згинальний момент під час статичного розрахунку без урахування геометричної нелінійності, Н-мм

Максимальний згинальний момент з урахуванням геометричної нелінійності $M_{\max} = 1030,7$ Н-мм.

Результати статичного розрахунку моделі пішохідного аркового моста з урахуванням геометричної нелінійності подано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Результати статичного розрахунку з урахуванням геометричної нелінійності

Результати статичного розрахунку	Значення
Максимальні переміщення, мм	0,20
У плиті σ_{\max} , МПа	40,98
У сталевих елементах σ_{\max} , МПа	139,36
M_{\max} , Н-мм	1076,6

Порівняння результатів статичного розрахунку з урахуванням і без урахування геометричної нелінійності моделі блок-ферми покриття подано в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 - Порівняння результатів статичних розрахунків

Результати статичного розрахунку	Стат.розрахунок без урахування геом. нелінійності	Стат.розрахунок з урахуванням геом. нелінійності	Несхідність, %
Максимальні переміщення точок плити, мм	0,27	0,20	25,92
У плиті σ_{\max} , МПа	43,72	40,98	6,27
У сталевих елементах σ_{\max} , МПа	155,63	139,36	10,45
M_{\max} , Н-мм	1076,6	1030,7	4,26

Під час аналізу зусиль і переміщень, що виникають, було зроблено такі висновки:

При врахуванні геометричної нелінійності в статичному розрахунку переміщення в стрижневій моделі зменшилися на 25,92%.

При врахуванні геометричної нелінійності в статичному розрахунку напруження в стрижневій моделі зменшилися (в плиті на 6,27%, а в сталевих елементах на 10,45%).

У разі врахування геометричної нелінійності в статичному розрахунку значення максимального згинального моменту в стрижневій моделі зменшилися на 4,26%.

З урахуванням зроблених висновків поставлено таке завдання:

– виконати розрахунок стрижневої моделі блок-ферми в статичній постановці з урахуванням геометричної нелінійності та попереднім напруженням сталевих елементів.

4.4 Статичний розрахунок стрижневої розрахункової схеми блок-ферми з урахуванням геометричної нелінійності та попереднього напруження похилих елементів шпренгеля

Задамо значення попереднього напруження обраній парі похилих елементів шпренгеля залежно від величини напруження, що виникає в них, за допомогою інструменту BoltPreession рисунок 4.12.

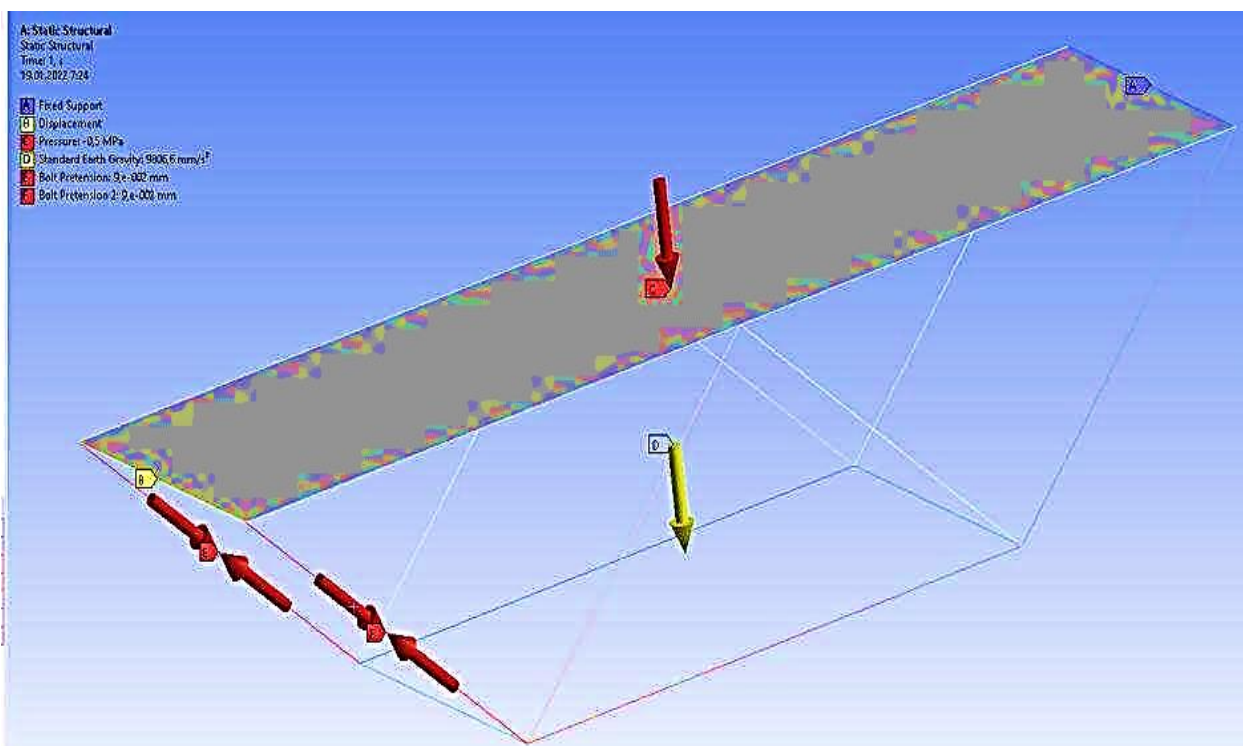


Рисунок 4.12 - Попередньо напружені похилі елементи шпренгеля з попереднім напруженням

На рисунку 4.13 представлено загальні переміщення блок-ферми покриття під час впливу статичного навантаження від власної ваги конструкції та навантаження від снігу 0,5 МПа на весь проліт з урахуванням геометричної нелінійності та з попереднім напруженням похилих елементів шпренгеля.

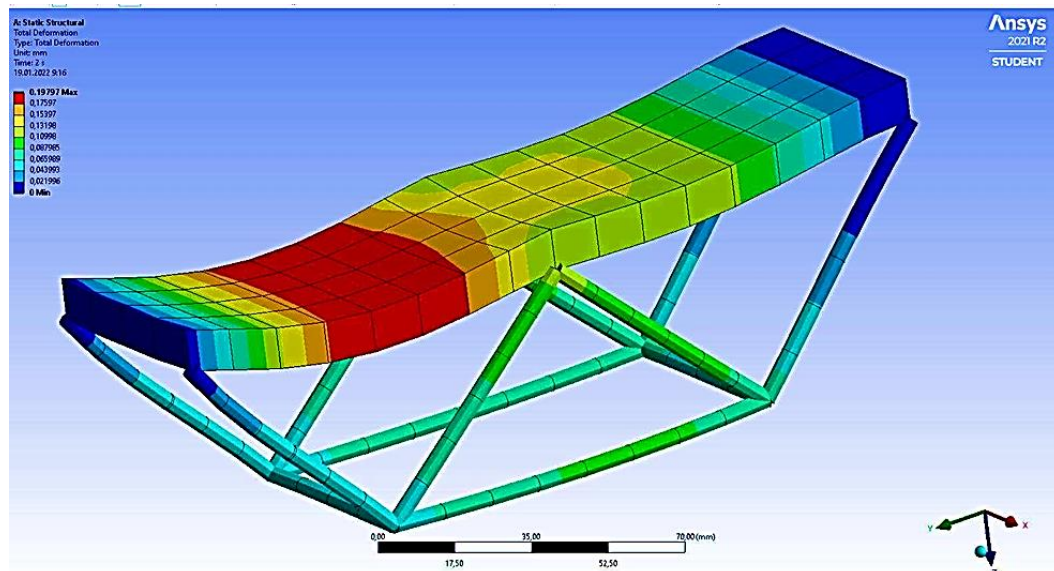


Рисунок 4.13 - Загальні переміщення під час статичного розрахунку з попереднім напруженням похилих елементів шпренгеля, мм

Значення максимального переміщення 0,19 мм.

На рисунку 4.14 представлено значення напружень у плиті моделі блок-ферми під час впливу статичного навантаження від власної ваги конструкції та навантаження від снігу 0,5 МПа на весь проліт з урахуванням геометричної нелінійності та з попереднім напруженням похилих елементів шпренгеля.

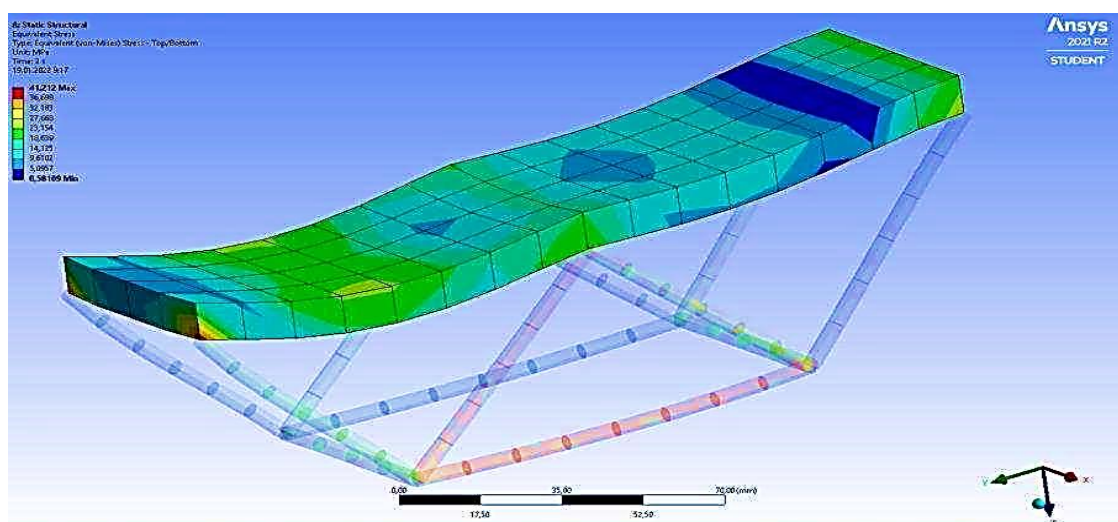


Рисунок 4.14 - Напруги в плиті моделі блок-ферми під час статичного розрахунку з урахуванням геометричної нелінійності та з попереднім напруженням похилих елементів шпренгеля, МПа

Максимальне значення напруги, що виникає в плиті $\sigma_{\max} = 41,21$ МПа.

На рисунку 4.15 представлено значення напружень сталевих елементів моделі блок-ферми покриття під час впливу статичного навантаження від власної ваги і навантаження від снігу 0,5 МПа на весь проліт з урахуванням геометричної нелінійності та з попереднім напруженням похилих елементів шпренгеля.

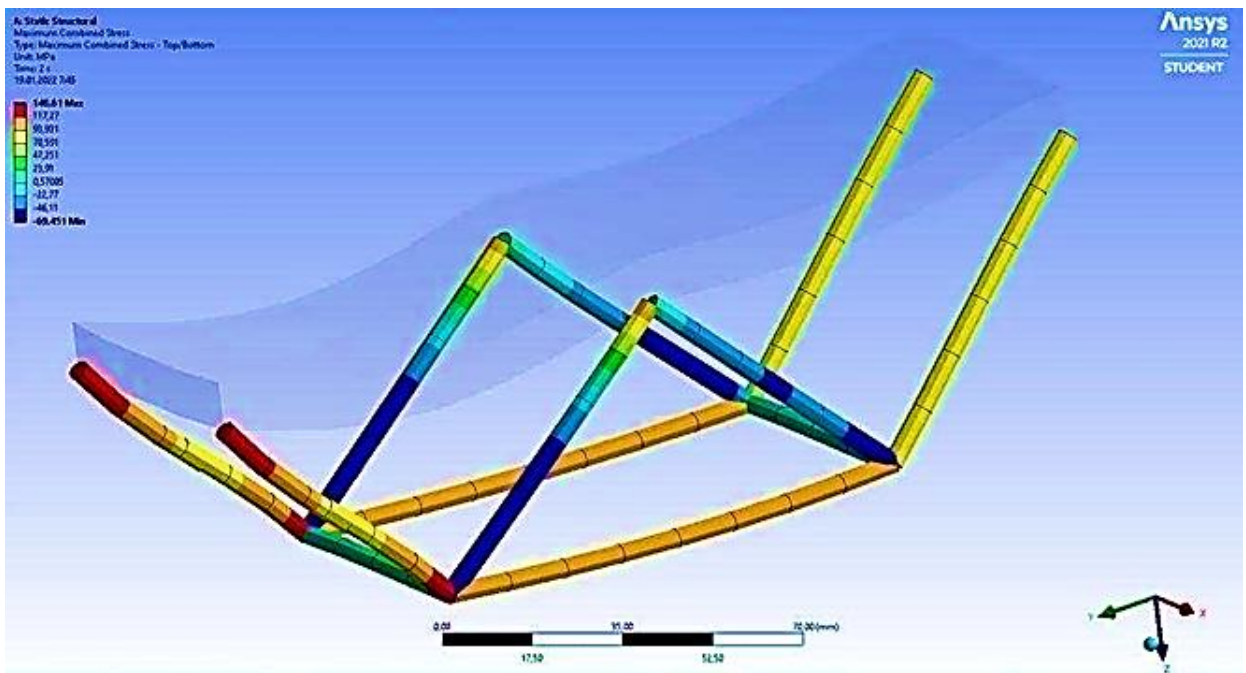


Рисунок 4.15 - Напруги сталевих елементів моделі під час статичного розрахунку з урахуванням геометричної нелінійності та з попереднім напруженням похилих елементів шпренгеля, МПа Максимальне значення напруги $\sigma_{\max} = 139,50$ МПа

На рисунку 4.16 представлено значення згинального моменту моделі блок-ферми покриття під час впливу статичного навантаження від власної ваги і навантаження від снігу 0,5 МПа на весь проліт з урахуванням геометричної нелінійності і з попереднім напруженням похилих елементів шпренгеля.

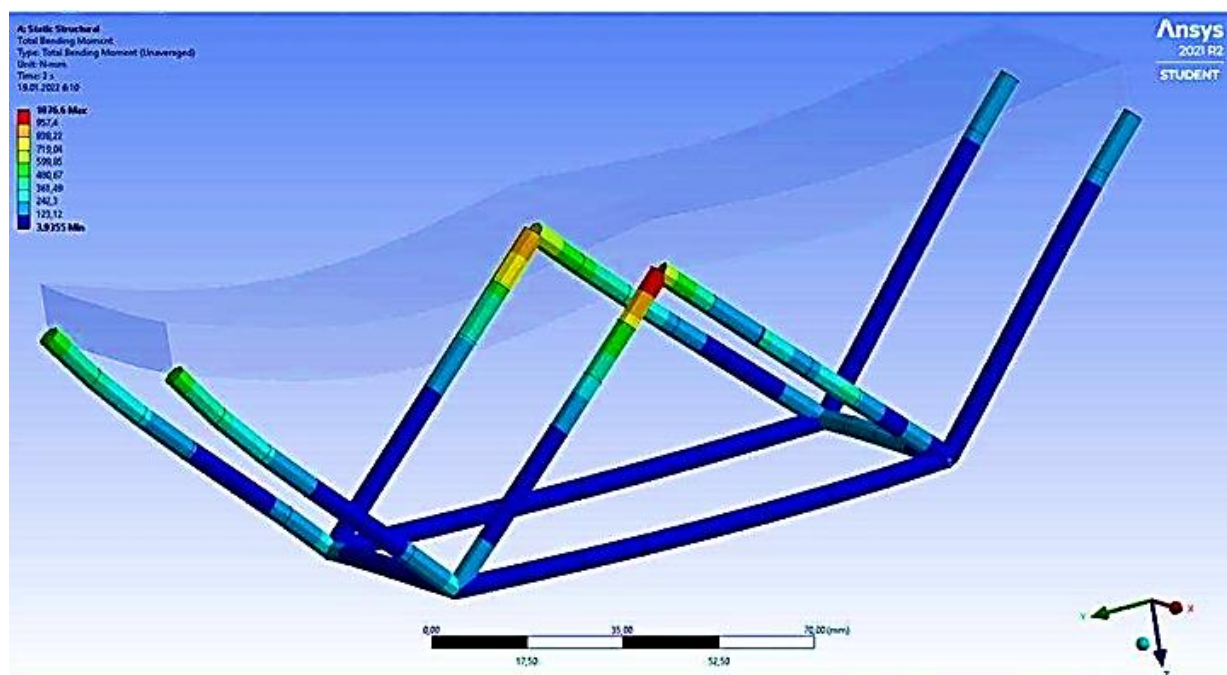


Рисунок 4.16 - Згинальний момент під час статичного розрахунку з урахуванням геометричної нелінійності та з попереднім напруженням похилих елементів шпренгеля, Н-мм

Максимальний згинальний момент $M_{\max} = 1045,6$ Н-мм.

Результати статичного розрахунку моделі блок-ферми покриття з урахуванням геометричної нелінійності та з попереднім напруженням похилих елементів шпренгеля подано в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Результати статичного розрахунку з урахуванням геометричної нелінійності та з попереднім напруженням похилих елементів шпренгеля

Результати статичного розрахунку	Значення
Максимальні переміщення, мм	0,19
У плиті σ_{\max} , МПа	41,21
У сталевих елементах σ_{\max} , МПа	139,50
M_{\max} , Н-мм	1045,6

4.5 Аналіз отриманих результатів

Для оцінки ефективності регулювання НДС блок-ферми покриття попереднім напруженням похилих елементів шпренгеля виконано порівняння результатів статичних розрахунків, а саме порівняння значень результатів загальних переміщень плити, напруг, що виникають у плиті та у сталевих елементах, і згинальних моментів.

Порівняння результатів статичного розрахунку моделі блок-ферми з різними умовами наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Порівнянь результатів статичних розрахунків за різних умов

Результати статичного розрахунку	Стат. розрахунок без урахування геом. нелінійності	Стат. розрахунок з урахуванням геом. нелінійності	Стат. розрахунок з урахуванням геом. нелінійності та попер. напруження похилих елементів шпренгеля
Максимальні переміщення, мм	0,27	0,20	0,19
У плиті σ_{\max} , МПа	43,72	40,98	41,21
У сталевих елементах σ_{\max} , МПа	155,63	139,36	139,50
M_{\max} , Н-мм	1076,6	1030,7	1045,6

4.6 Висновок до розділу 4

Проаналізувавши результати виконаного розрахунку, робимо висновки:

- переміщення плити блок-ферми покриття зменшилися на 29,62 %;
- значення максимального згинального моменту зменшилося на 2,87 %;
- максимальне напруження в плиті зменшилося на 5,74 %, у сталевих елементах шпренгеля на 10,36 %.

Вдалося значно зменшити переміщення плити блок-ферми покриття, і трохи зменшити значення максимального згинального моменту. Мету регулювання виконано.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Охорона праці

Охорона праці – це зведення законодавчих актів і правил, відповідних їм гігієнічних, організаційних, технічних та соціально-економічних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатність людини в процесі праці. Організація будівельного майданчика, ділянки робіт та робочих місць повинна забезпечувати безпеку праці працюючих на всіх етапах виконання робіт.

Вирішення питань про охорону праці та здоров'я трудящих на будівельному майданчику є найважливішим завданням. При вирішенні завдань необхідно чітко представляти сутність процесів і відшукати способи (найбільш підходящі до кожного конкретного випадку), що усувають вплив на організм шкідливих і небезпечних факторів і унеможливають травматизм і професійні захворювання.

5.1.1 Інженерні рішення з охорони праці

Проектом передбачені інженерні рішення з техніки безпеки будівельно-монтажних та супутніх допоміжних робіт.

При виробництві будівельно-монтажних робіт необхідно дотримуватись вимог [39]. Чинна система охорони праці (трудове законодавство, виробнича санітарія та техніка безпеки) забезпечує належні умови праці робітникам-будівельникам, підвищення культури виробництва, безпеку робіт та їх полегшення, що сприяє підвищенню продуктивності праці. Створення безпечних умов праці у будівництві тісно пов'язане з технологією та організацією виробництва. Відповідальність за безпеку робіт покладено у законодавчому порядку на технічних керівників будівель – головних інженерів та інженерів з охорони праці, виробників робіт та будівельних майстрів. Керівники будівництва зобов'язані організувати планування заходів з охорони праці та протипожежної техніки та забезпечити проведення цих заходів у встановлені терміни.

Поліпшення організації виробництва, створення на будівельному майданчику умов праці, що усувають виробничий травматизм, професійні захворювання та забезпечують нормальні санітарно-побутові умови – одне з найважливіших завдань, від успішного вирішення якого залежить подальше підвищення продуктивності праці на забудовах.

До обов'язків адміністрації будівельних організацій з охорони праці входять:

- дотримання правил охорони праці, здійснення заходів з техніки безпеки та виробничої санітарії;

- розробка перспективних планів та угод колективних договорів щодо покращення та оздоровлення умов праці;

- забезпечення працюючих спецодягом, спецвзуттям, засобами індивідуального захисту;

- проведення інструктажів та навчання робочих правил техніки безпеки;

- організація пропаганди безпечних методів праці, забезпечення будівельних об'єктів плакатами, запобіжними написами тощо;

- організація навчання та щорічної перевірки знань, правил та норм охорони праці інженерно-технічного персоналу;

- проведення медичних оглядів осіб, зайнятих на роботах із підвищеною небезпекою та шкідливими умовами;

- розслідування всіх нещасних випадків та профзахворювань, що сталися на виробництві, а також їх облік та аналіз;

- ведення документації та перевірка встановленої звітності з охорони праці;

- видання наказів та розпоряджень з питань охорони праці.

Загальне керівництво робіт з техніки безпеки та виробничої санітарії, а також відповідальність за її стан покладається на керівників (начальників та головних інженерів) будівельних організацій.

5.1.2 Огородження території

Територія будівельного майданчика має бути виділена на території огорожами:

- захисно-охоронними, призначеними для запобігання доступу сторонніх осіб на ділянки з небезпечними та шкідливими виробничими факторами та забезпечення збереження матеріальних цінностей;
- захисними, призначеними лише запобігання доступу сторонніх осіб у ділянки з небезпечними виробничими чинниками;
- сигнальними, призначеними для попередження про межі територій та ділянок з небезпечними та шкідливими виробничими факторами.

Панелі огорож повинні бути прямокутними зі стандартною довжиною $L=1,2; 1,6; 2,0$ м. Відстань між суміжними елементами огороження заповнення полотна панелей має бути 80...100 мм. Відстань між стійками сигнальних огорож не більше 6м.

5.1.3 Визначення небезпечних зон на будівельному майданчику

При організації будівельного майданчика, розміщення ділянок робіт, робочих місць, проїздів будівельних машин, транспортних засобів, проходів для людей слід встановити небезпечні для людей зони, у яких постійно діють або потенційно можуть діяти небезпечні виробничі фактори.

До ділянок небезпечних виробничих факторів відносяться зони:

- у смузї шириною до 2-х метрів по периметру від не захищених перепадів за висотою на 1,3 м і більше;
- у місцях переміщення машин та обладнання або їх робочих органів та відкритих частин, що рухаються або обертаються;
- у місцях, над якими відбувається переміщення вантажів вантажопідіймальними кранами;

- поблизу від відкритих неізольованих струмопровідних частин електроустановок та ЛЕП;

- у місцях, де рівні шуму, вібрації чи забруднення повітря робочої зони перевищують гігієнічні норми:

До зон потенційно діючих небезпечних виробничих факторів відносяться:

- монтажні зони - ділянки території поблизу будівлі або споруди, що будується;

- поверхи (яруси) будівель та споруд в одній захватці, над якими відбувається монтаж (демонтаж) конструкцій або обладнання.

5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.2.1 Законодавча база України

Основу нормативно-правової бази в сфері цивільної оборони, захисту населення і території від наслідків надзвичайних ситуацій складають: Кодекс цивільного захисту України, закони «Про війська цивільної оборони», «Про аварійно-рятувальні служби»; укази Президента України «Про Концепції захисту населення і територій у випадку загрози і виникнення НС» і Положення «Про міністерство України з питань НС і в справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи», постанови Кабінету Міністрів України про затвердження «Положення про цивільну оборону України», «Про єдину державну систему попередження і реагування на НС техногенного і природного характерів», «Положення про керування з питань НС і цивільного захисту населення обласних і міських державних адміністрацій» та інші нормативні акти.

5.2.2 Заходи при землетрусі

Землетруси починаються раптово і охоплюють значні території. Руйнування будівель, зсуви і обвали крутих схилів є головними причинами людських жертв і великих матеріальних збитків при сильних землетрусах. Сейсмічними вважають райони, де зареєстровані або теоретично очікувані землетруси у 6 балів та вище. Основні вимоги до будівництва у сейсмічних районах зведено до вжиття таких заходів:

1. Вибір ділянки для будівництва.
2. Вибір конструктивного рішення (КР) та об'ємно-планувального рішення (ОПР).
3. Забезпечення високої якості будівництва.
4. Поділ будівель і споруд антисейсмічними швами.

Будівельні майданчики під населені пункти і споруди обираються з урахуванням геологічних даних, якнайдалі від можливих або явних розривних порушень, далеко від крутих схилів, що загрожують обвалами і зсувами. Неприятливими для будівництва вважають пухкі ґрунти і тріщинуваті породи. При виборі ділянки для забудови враховують такі поняття як сейсмостійкість будівельних об'єктів та сейсмічність будівельного майданчика. Сейсмостійкістю називають здатність ґрунтів, будівель і споруд протистояти сейсмічним впливам. Заходи з підвищення сейсмостійкості будівель застосовуються у районах із сейсмічністю у 7 балів і вище. Нормативне обґрунтування цих заходів здійснюється за «ДБН В.1.112:2006. Будівництво у сейсмічних районах України». За сейсмічності більше 9 балів зведення капітальних будівель заборонено.

5.2.3 Системи сейсмосахисту будівель і споруд

Загальна класифікація систем сейсмосахисту споруд представлена на рис. 4.1. Вона складається з традиційних методів забезпечення сейсмостійкості та спеціальних засобів сейсмосахисту.

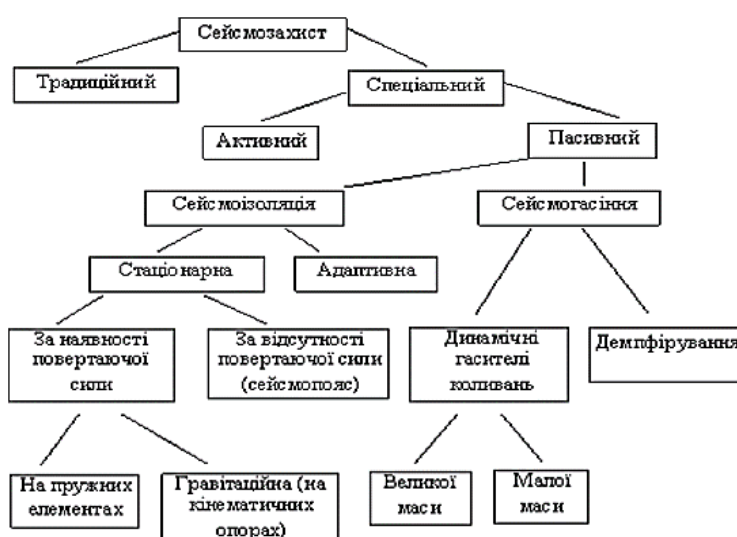


Рисунок 5.1 - Загальна класифікація систем сейсмосахисту споруд

5.3 Висновки до розділу 5

У цьому розділі було розглянуто безпеку в надзвичайних ситуаціях з фокусом на землетрусі.

Оскільки, землетруси є однією з найбільш небезпечних природних катастроф, які можуть призвести до значних матеріальних збитків та загибелі людей. Однак, певні заходи можуть бути прийняті, щоб зменшити ризик втрати життя та матеріальних збитків.

Було розглянуто заходи, які можуть бути прийняті в разі землетрусу. Вони включають в себе пошук безпечного місця, прикриття голови та шиї твердим предметом, уникнення ліфтів та швидкого виходу з будівлі.

Було також розглянуто заходи підвищення стійкості будівлі при землетрусі. Вони включають в себе правильне планування будівель, використання стійких матеріалів, які можуть поглинати енергію землетрусу, та використання підсилюючих конструкцій для підвищення стійкості будівлі.

Нарешті, було розглянуто системи сейсмозахисту будівель, які можуть допомогти зменшити ризик матеріальних збитків та загибелі людей. Ці системи включають в себе ізолятори, амортизатори та інші системи, які можуть допомогти зменшити вібрації та поглинати енергію землетрусу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У першому розділі проведено огляд сучасного стану проектування попередньо напружених і регульованих за допомогою попереднього напруження конструкцій. Виконавши огляд літератури, у якому було відображено досвід проектування попередньо напружених будівельних конструкцій, можна зробити такі висновки:

– попереднє напруження будівельних конструкцій - це одна з тенденцій технічного розвитку, що активно розвивається, завдяки якій можна забезпечити вищий технічний рівень різноманітних будівельних конструкцій.

– попередньо напружуючи будівельні конструкції, можна домогтися підвищення їхньої ефективності, знизити їхню вартість, заощадити матеріал, знизити вагу.

– попереднє напруження можливо використовувати в конструкціях з різних матеріалів, таких як металевих, залізобетонних, дерев'яних, різних розмірів і об'ємів: площинних, просторових, великопротітних.

У другому розділі було вивчено алгоритм регулювання НДС конструкцій, особливості, що виникають під час постановки задачі регулювання НДС, заходи, що передують вибору способу регулювання НДС конструкції, а також способи регулювання НДС конструкції.

Регулювання здійснюється введенням у конструкцію нових параметрів регулювання (регуляторів). Регулюючи НДС конструкції, необхідно визначитися з цілями регулювання і засобами, за допомогою яких це регулювання досягається.

Найпоширенішою метою регулювання напружено-деформованого стану конструкцій є зміна епюри згинальних моментів. Зі способів регулювання, більшою мірою поширений метод попередньої напруги. Регулювання НДС конструкцій може здійснюватися на будь-якому етапі життєвого циклу будівельних конструкцій.

У третьому розділі було здійснено вибір ефективного підкріплення плити шпренгелем для створення найефективнішого НДС плити

Найефективніше застосовувати попереднє напруження в комбінованих (з різних матеріалів, або різної жорсткості) конструкціях, таких як шпренгельні ферми, вантові конструкції. Оцінка сучасного стану способів регулювання НДС конструкцій дала змогу вибрати попереднє напруження елементів шпренгеля як найефективніший спосіб регулювання НДС для блок-ферми покриття.

Проведений аналіз різних варіантів шпренгелів дав змогу зробити висновок, що найвигіднішим підкріпленням є перший варіант. Отримані результати розрахунків на статичні та динамічні навантаження в програмному комплексі SCAD свідчать, що шляхом попереднього напруження двох симетричних елементів нижнього поясу шпренгеля вдалося зменшити прогин у розрахунковій точці (вузлі 582) до $W_{OK} = -15,08$ мм. Але при цьому максимальний згинальний момент став рівним, $M_{x,OK} = 47,93$ кН*м, трохи збільшився.

У четвертому розділі виконано чисельне дослідження комбінованої блок-ферми покриття за допомогою програмного комплексу ANSYS. Створено просторову скінченно-елементну модель комбінованої блок-ферми покриття, а також виконано статичний розрахунок стрижневої моделі в програмному комплексі ANSYS.

Аналіз отриманих результатів дав змогу зробити такі висновки: геометричну нелінійність, спричинену переміщенням елементів конструкцій, слід враховувати під час розрахунку систем, у яких її врахування спричиняє зміну зусиль і переміщень більш ніж на 5%. Під час цього статичного розрахунку моделі просторової блок-ферми покриття допускається не враховувати геометричну нелінійність, тому що незбіжність результатів менша 5%. Виконано чисельні дослідження з регулювання напружено - деформівного стану просторової блок-ферми покриття, використовуючи алгоритми регулювання конструкцій попереднього напруження елементів нижнього поясу. Переміщення плити блок-ферми покриття зменшилися на 29,62 %; Значення максимального згинального моменту зменшилося на 2,87%. Максимальне напруження в плиті зменшилося на 5,74%, у сталевих елементах шпренгеля на 10,36%.

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.1.2-2:2006. Навантаження і впливи / Мінбуд України. К: Сталь, 2006. – 70 с.
3. ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво в сейсмічних районах України
4. Henry, Richard & Brooke, Nicholas & Ingham, Jason. (2007). An Overview of Reinforced and Prestressed Concrete Research at the University of Auckland. CD-ROM.
5. Hillemeier, Bernd & Luther, Thomas & Simon, Knapp. (2022). Analysis of the Condition of Tendons in Prestressed Concrete Structures. e-Journal of Nondestructive Testing. 27. 10.58286/27259.
6. Wang, Fei. (2024). Mechanical performance analysis of prestressed socket assembled concrete frame structure relying on computer simulation analysis. Journal of Physics: Conference Series. 2729. 012012. 10.1088/1742-6596/2729/1/012012.
7. Pisani, Marco & Limongelli, Maria Pina & Giordano, Pier Francesco & Palermo, Mattia. (2021). On the Effectiveness of Vibration-Based Monitoring for Integrity Management of Prestressed Structures. Infrastructures. 6. 171. 10.3390/infrastructures6120171.
8. Thoft-Christensen, P.; Nowak, A. Principles of Bridge Reliability: Application to Design and Assessment Codes; Structural Reliability Theory, No. 162, Volume R9751; Department of Building Technology and Structural Engineering: Aalborg, Denmark, 1997
9. Wadee, Ahmer & Hadjipantelis, Nicolas & Gardner, Leroy & Lozano-Galant, Jose. (2020). Stability of steel struts with externally anchored prestressed cables. Journal of Constructional Steel Research. 164. 105790. 10.1016/j.jcsr.2019.105790.
10. Afshan, Sheida & Theofanous, Marios & Wang, Jie & Gkantou, Michaela & Gardner, Leroy. (2019). Testing, numerical simulation and design of prestressed high

strength steel arched trusses. *Engineering Structures*. 183. 510-522. 10.1016/j.engstruct.2019.01.007.

11. Кравчук, В., Змішовський, Н., Скиба, В., Гудь, М. І., & Крамар, Г. М. (2021). Аналітична модель купольної оболонки. *Матеріали ІХ науково-технічної конференції „Інформаційні моделі, системи та технології“*, 183-184.

12. Конончук, О. П., Гаврилюк, Б. В., Дячук, М. Л., & Прокопенко, О. Я. (2021). Дослідження напружено-деформованого стану монолітного залізобетонного каркасу будівлі МСЕ. *Збірник тез доповідей Х Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“*, 1, 14-15.

13. Kononchuk, O., V. Iasnii, and N. Lutsyk. "Prediction of reinforced concrete structures behavior using finite element method." *Procedia Structural Integrity* 36 (2022): 177-181.

14. Kovalchuk Y. Formation of input information arrays for computer simulation of welded trusses behavior under thermal force effects / Yaroslav Kovalchuk, Natalya Shynhera, Yaroslav Shved // *Scientific Journal of TNTU*. — Tern. : TNTU, 2023. — Vol 110. — No 2. — P. 118–124.

15. Shved, Y., Kovalchuk, Y., Bodrova, L., Kramar, H., & Shynhera, N. (2022). Material consumption optimization of a welded rafter truss made of angle profiles. *Procedia Structural Integrity*, 36, 10-16.

16. ПОЛІТОВ, Л. Л.; КОВАЛЬ, І. В. Принципи проектування сейсмостійких будівель. *Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“*, 2020, 1: 115-115.

17. 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.

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