

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра будівельної механіки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Дослідження впливу конструктивних параметрів на тримку
здатність просторової ферми**

Виконав: студент VI курсу, групи МБнм-61
спеціальності 192

Промислове та цивільне будівництво

(шифр і назва спеціальності)

	<hr/> (підпис)	Свідер В.С. <hr/> (прізвище та ініціали)
Керівник	<hr/> (підпис)	Сорочак А.П. <hr/> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<hr/> (підпис)	Данильченко С.М. <hr/> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<hr/> (підпис)	Ковальчук Я.О. <hr/> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<hr/> (підпис)	Лупійчук С.І. <hr/> (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

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

Факультет _____ інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра _____ будівельної механіки
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ковальчук Я.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 20__20__ 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 _____ Свідеру Володимиру Степановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Дослідження впливу конструктивних параметрів на тримку
здатність просторової ферми

Керівник роботи _____ к.т.н., доц. Сорочак Андрій Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 29 » серпня 20__19__ року № 4/7-739

2. Термін подання студентом завершеної роботи «18» травня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи _____ просторова сталева ферма, прольот $L = 18$ м, ширина $B = 1,5$ м,
навантаження – власна вага, зовнішнє вузлове

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

Огляд літератури за темою досліджень. Методика експериментальних досліджень.

Вибір методу моделювання та програмного забезпечення. Аналіз впливу конструктивних параметрів на тримку здатність ферми. Аналіз співвідношення міцності до стійкості.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

Класифікація просторових ферм. Конструктивні параметри ферм. Розрахункова модель досліджуваної ферми. Схема прикладання навантаження. Залежність максимального прогину по осі Z . Залежність максимальних зусиль розтягу у стержнях. Залежність максимальних зусиль стиску у стержнях. Вичерпання тримкої здатності. Втрата міцності та стійкості ферми. Діаграма порівняння варіантів ферми по серіях.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н., доц. Каспрук В.Б.		
Безпека в надзв. ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання _____ «16» вересня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою досліджень	20.10.2019	
2	Мета і завдання дослідження	01.11.2019	
3	Вибір методу моделювання та програмного забезпечення	17.11.2019	
4	Побудова розрахункової моделі	05.01.2020	
5	Аналіз отриманих результатів дослідження просторових ферм за серіями	27.01.2020	
6	Аналіз співвідношення міцності до стійкості за першим граничним станом	17.02.2020	
7	Порівняння варіантів конструкції ферм за серіями	05.04.2020	
8	Охорона праці	20.04.2020	
9	Безпека в надзвичайних ситуаціях	04.05.2020	
10	Загальні висновки та рекомендації	15.05.2020	

Студент _____
(підпис)

Свідер В.С.
_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Сорочак А. П.
_____ (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ	8
1.1 Сфера застосування металевих конструкцій	8
1.2 Особливості стержневих конструкцій	9
1.3 Класифікація стержневих конструкцій	10
1.4 Основні конструктивні параметри ферм.....	14
1.5 Просторова чотиригранна ферма	15
1.6 Просторова тригранна ферма	16
1.7 Мета і завдання дослідження.....	17
1.8 Висновки до розділу.....	18
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	19
2.1 Вибір розрахункової моделі	19
2.2 Вибір методу моделювання та програмного забезпечення.....	21
2.3 Суть методу скінченних елементів	23
2.4 Побудова розрахункової моделі	24
2.5 Висновки до розділу.....	31
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ТРИМКУ ЗДАТНІСТЬ ФЕРМИ.....	32
3.1 Аналіз отриманих результатів дослідження просторових ферм серії А (Н = 1,5 м).....	32
3.2 Аналіз отриманих результатів дослідження просторових ферм серії Б (Н = 2,15 м)	35
3.3 Аналіз отриманих результатів дослідження просторових ферм серії В (Н = 2,8 м).....	38
3.4 Аналіз співвідношення міцності до стійкості за першим граничним станом для кожної серії	41
3.5 Порівняння варіантів конструкції ферм за серіями.....	46
3.6 Висновки до розділу.....	52

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	54
4.1 Законодавча база України про охорону праці	54
4.2 Заходи з охорони праці при проведенні дослідження.....	55
4.3 Класифікація надзвичайних ситуацій	56
4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях	57
4.5 Висновки до розділу.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	60
БІБЛІОГРАФІЯ	63
ДОДАТОК А РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ФЕРМ СЕРІЇ А (H = 1,5 м).....	66
ДОДАТОК Б РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ФЕРМ СЕРІЇ Б (H = 2,15 м)	73
ДОДАТОК В РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ФЕРМ СЕРІЇ В (H = 2,8 м)	80
ДОДАТОК Г РЕЗУЛЬТАТИ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗРАХУНКУ	87

ВСТУП

Актуальність теми роботи. Високі темпи та рівень сучасного будівництва обумовили застосування металевих конструкцій завдяки своїм універсальним якостям: високій міцності, легкості, індустріальності, непроникності, швидкості монтажу, можливості повторного застосування та ін. Серед них широко використовують стержневі конструкції у вигляді просторових ферм, оскільки вони раціональні при різних навантаженнях та можуть мати будь-який обрис залежно від компоновальних та функціональних вимог.

Тому з масштабним застосуванням просторових ферм зростають і потреби у вдосконаленні відповідних моделей різної конфігурації даних конструкцій. Використання даного роду конструкцій зумовлене такими основними критеріями як міцність та стійкість, оскільки відомо, що руйнування стержневих металоконструкцій пов'язане із втратою стійкості стиснутих елементів. Тому задача дослідження впливу конструктивних параметрів на тримку здатність просторових ферм з урахуванням конкретних умов експлуатації є актуальною.

Метою даної роботи є встановлення залежностей впливу конструктивних параметрів просторової ферми, зокрема висоти та кута нахилу розкосів, на її тримку здатність та напружено-деформівний стан при заданому навантаженні.

Завданнями для досягнення мети є:

- проаналізувати відомі фактори впливу конструктивних параметрів ферм на їх тримку здатність;
- розробити ряд скінченно-елементних моделей просторової чотиригранної ферми з варіаціями її конструктивних параметрів – висоти та кута нахилу розкосів;
- дослідити вплив конструктивних параметрів на напружено-деформівний стан та тримку здатність металевих просторових ферм;
- проаналізувати отримані результати з техніко-економічної точки зору застосування в будівельній галузі;

- запропонувати схему з оптимальними конструктивними параметрами за критеріями тримкої здатності та економічності для заданих умов навантаження.

Об'єктом даного дослідження є просторова чотиригранна розкісна ферма довжиною 18 м та шириною 1,5 м.

Предметом дослідження є вплив конструктивних параметрів просторової ферми на її на тримку здатність.

Методи дослідження: метод чисельного моделювання з використанням методу скінченних елементів у формі переміщень, реалізований в програмному комплексі ЛІРА-САПР 2015; графічний метод; статистичний та порівняльний методи.

Наукова новизна отриманих результатів:

- 1) одержала подальший розвиток методика проведення чисельного моделювання багатоваріантних конструктивних схем просторових металевих ферм;
- 2) уточнено залежності впливу досліджуваних конструктивних параметрів ферми на характеристики її напружено-деформівного стану та тримку здатність.

Практичне значення отриманих результатів. В результаті виконаних досліджень визначено оптимальний варіант просторової ферми ($H = 2,15$ м; $\alpha = 50^\circ$), що задовольняє перевірки за граничними станами та характеризується мінімальним прогином та високою економічною ефективністю.

Отримані в результаті дослідження залежності впливу висоти та кута нахилу розкосів на НДС чотиригранної розкісної просторової ферми можуть бути використані для конструкцій даного типу, що застосовуються:

- у цивільному, житловому будівництві;
- у промисловому будівництві;
- у будівництві будинків з великою площею (вокзали, ангари, торгові та спортивні комплекси);
- у високих спорудах (щогли, вежі, вишки, естакади, транспортні галереї);

- для конструкцій спеціального призначення (мости, стріли кранів та екскаваторів тощо).

Апробація результатів кваліфікаційної роботи. Окремі результати роботи доповідались на VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 28-29 листопада 2019 р.).

Публікації. Свідер, В. С. Дослідження впливу конструктивних параметрів на несучу здатність просторових ферм / В. С. Свідер, А. П. Сорочак // Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 27-28 листопада 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — Том 1. — С. 31–32. — (Нові матеріали, міцність і довговічність елементів конструкцій).

Ключові слова: ПРОСТОРОВА СТЕРЖНЕВА ФЕРМА, ТРИМКА ЗДАТНІСТЬ, ГРАНИЧНИЙ СТАН, КУТ НАХИЛУ РОЗКОСІВ, ВИСОТА ФЕРМИ.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Сфера застосування металевих конструкцій

Металоконструкції застосовуються в багатьох галузях будівництва при зведенні будівель і споруд завдяки своїм властивостям – високій міцності (несучій здатності); надійній роботі при різних видах напруженого стану, в агресивних умовах експлуатації; легкому виготовленні і монтажу; малій власній вазі при значних навантаженнях. Також, метали володіють високою щільністю, непроникністю для газу і рідини.

Сталеві конструкції в даному випадку представлені плоскими і просторовими фермами (рис. 1.1). Даного роду конструкції застосовуються для перекриття великих і малих прольотів, для високих споруд (для опор ліній електропередачі та для опор телевеж), в конструкцій спеціального призначення (мости, стріли кранів та екскаваторів тощо).

У випадку коли навантаження прикладаються в одній площині, то для врівноваження всіх сил потребуються плоскі ферми або інші двовимірні стержневі конструкції.



Рисунок 1.1 – Области застосування просторових ферм

1.2 Особливості стержневих конструкцій

Фермою називають стержневу конструкцію, яка працює на чистий згин або згин зі стиском та складається з окремих стержнів, які з'єднуються за допомогою вузлів. Вони можуть мати будь-який обрис залежно від технологічних вимог. Ферми застосовуються при різноманітних навантаженнях, (наприклад важких), що характерно, для конструкцій мостів. При прикладанні навантажень у вузлах, в елементах ферм виникають тільки поздовжні зусилля розтягу або стиску. При позавузловому навантаженні виникають моменти, а стержні працюють як позацентрово-стиснуті або позацентрово-розтягнуті [1]. В загальному випадку, коли навантаження не лежать в одній площині, то потрібне застосування просторових ферм. Тоді можна досягти врівноваження зусиль розтягнутими і

стиснутими стержнями ферми, не допускаючи при цьому згину і кручення стержнів.

1.3 Класифікація стержневих конструкцій

Сталеві ферми використовуються в багатьох областях будівництва: у покриттях і перекриттях промислових і цивільних будинків, мостах, опорах ліній електропередачі, об'єктах зв'язку, телебачення й радіомовлення (вежі, щогли), транспортних естакадах, гідротехнічних затворах, вантажопідйомних кранах тощо. Ферми мають різну конструкцію залежно від призначення, навантажень і класифікуються за наступними ознаками [1]:

За статичною схемою ферми розподіляються на:

- розрізні балкові (рис. 1.2, *a*), що найбільш використовувані через простоту у виготовленні та монтажі;

- нерозрізні (рис. 1.2, *б*), володіють великою власною масою та сприймають значні навантаження, за рахунок великої жорсткості, володіють незначною висотою;

- аркові (рис. 1.2, *в*) та рамні (рис. 1.2, *г*), вони застосовуються для великих прольотів, їх перевагою є раціональний розподіл внутрішніх зусиль у самій системі;

- консольні (рис. 1.2, *е*), використовуються разом із розрізними, інколи з нерозрізними системами конструкцій для того щоб розвантажити основні прольоти від зусиль. Башти, щогли (рис. 1.2, *д*) є вертикальними консольними фермами, котрі для забезпечення потрібної жорсткості в усіх напрямках виконуються просторовими;

- комбіновані (рис. 1.2, *ж*), представляють собою балку, посилену по верхньому або нижньому поясі стержневою системою, що знижує виникаючі в конструкції згинальні моменти. Такі конструкції використовуються великих навантаженнях, а також включаючи рухомі [1].

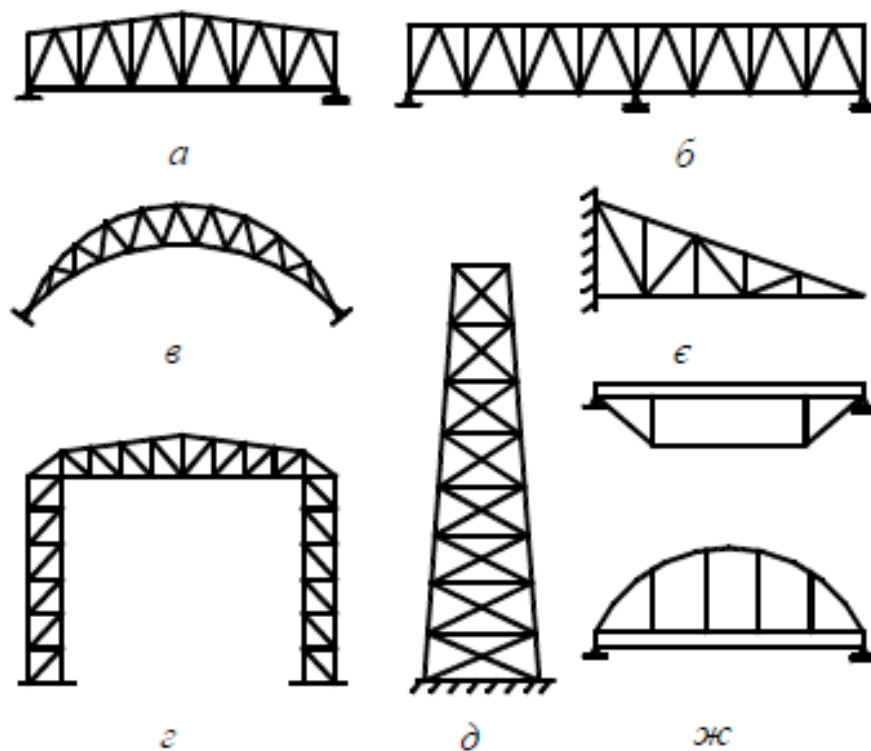


Рисунок 1.2 – Схеми ферм: *а* – розрізні балкові; *б* – нерозрізні; *в, г* – аркові і рамні; *е, д* – консольні; *ж* – комбіновані

В компонування конструктивної схеми входить вибір: обрису поясів (рис. 1.3), схеми решітки, основних розмірів. Вирішення даних завдань виконують з урахуванням функціонального призначення.

При виборі обрису поясів керуються типом покрівлі, яка може залежати від певного кута нахилу, раціональності статичної схеми, а також типу обпирання несучих елементів покрівлі на опори.

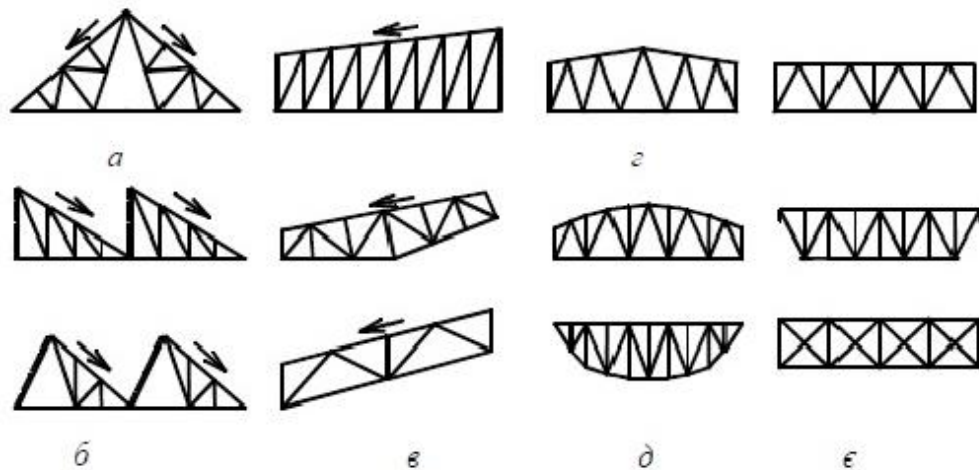


Рисунок 1.3 – Обрисы поясів ферм: *а* – трикутні; *б* – шедові; *в* – односкатні; *г* – трапецоїдні; *д* – полігональні; *е* – ферми з паралельними поясами

За типом решітки:

- Трикутна решітка (рис. 1.4, *а*) володіє найменшою сумарною довжиною та кількістю вузлів, але володіють найбільшими довжинами панелей поясів, що не раціонально, особливо при роботі стержнів на стиск.

- Розкісна решітка (рис. 1.4, *б*) яка навпаки характеризується меншими довжинами панелей, але кількість вузлів та загальна довжина розкосів і стійок при цьому зростає. Тому поєднання даних типів решітки об'єднує їх переваги в підсумку отримуючи трикутну решітку з додатковими стійками (рис. 1.4, *в*).

«Напрямок розміщення розкосів у різних типах решіток відіграє певну роль. Якщо перший від опори розкіс (він зветься опорним, бо безпосередньо сприймає опорну реакцію балкової ферми) спрямований знизу догори, тобто є висхідним, то він працює на стиск, а якщо навпаки, тобто є низхідним з обпиранням ферми на опору в рівні верхнього пояса, то на розтяг. При змінному обрисі поясів під час вибору напрямку опорних розкосів беруться до уваги ще й довжини діагоналей у кожній панелі. Так, для трапецоїдних ферм раціонально використовувати низхідні опорні розкоси, бо в цьому випадку вони мають меншу довжину. Для ферм з паралельними поясами напрямок опорних розкосів не має суттєвого значення (дослідження показують, що незначну (до 3 – 5 %) економію сталі можна досягти,

використовуючи низхідні розкоси). З метою уніфікації конструктивних рішень у типових фермах використовують висхідні розкоси» [1].

- Розкісну решітку використовують у трикутних фермах. Перші розкоси від опори виконуються низхідними, оскільки вони працюють на стиск та забезпечують простіше конструювання опорних вузлів при менших довжинах.

- Шпренгельна решітка (рис. 1.4, *г*) використовується при необхідності зменшення довжин панелей у фермах з великою висотою, а для усунення місцевого згину від зовнішнього позавузлового навантаження використовується ромбічна решітка (рис. 1.4, *д*).

- Напіврозкісна (рис. 1.4, *є*) решітка забезпечує необхідну жорсткість ферми при великих поперечних навантаженнях. Даний тип решітки застосовують у баштах, щоглах та мостах.

- Хрестова решітка (рис. 1.4, *ж*) використовується у фермах, в елементах котрих виникають знакозмінні зусилля від різних бокових навантажень, до прикладу, у просторових фермах башт та щогл, в'язевих системах покриттів і, особливо, у мостах.

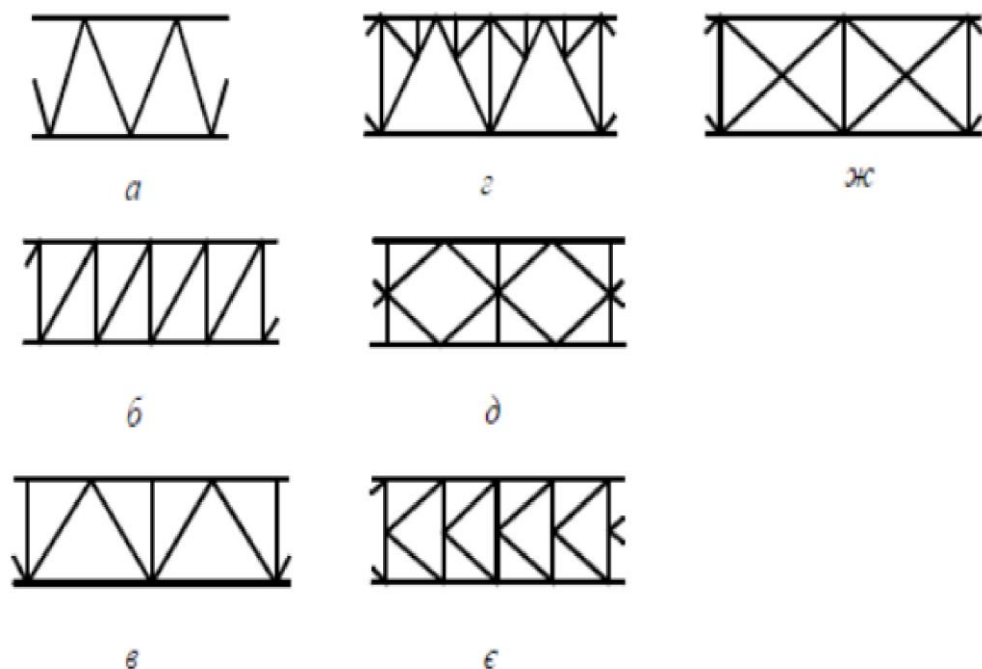


Рисунок 1.4 – Схеми решіток:

а – трикутна; *б* – розкісна; *в* – трикутна з додатковими стояками;
г – шпренгельна; *д* – ромбічна; *е* – напіврозкісна; *ж* – хрестова

За з'єднанням елементів – зварні, на заклепках, на болтах;

За максимальним зусиллям, що сприймається, – легкі – перерізом із прокатних профілів (зусилля $N \leq 300$ кН) і важкі – двоступінчасті зі складеного перерізу ($N > 300$ кН) [3].

1.4 Основні конструктивні параметри ферм

«Довжина ферми визначається її прольотом, який встановлюють залежно від компоновальних і технологічних вимог. При обпиранні ферм зверху на опори конструктивна довжина включає розміри опорних частин конструкції, а розрахунковий проліт може бути наближено взятий рівним відстані між внутрішніми чвертями ширини опор (для розрізних ферм):

$$l = l_0 + \frac{a}{4} \cdot 2 = l_0 + \frac{a}{2}, \quad (1.1)$$

де l_0 – відстань між внутрішніми гранями опор; a – ширина опор» [9].

Для середніх прольотів нерозрізних систем розрахункові довжини беруться по осях між опорами.

Якщо ферма обпирається збоку колони, то її довжина та розрахунковий проліт беруть таким, як внутрішня відстань між гранями колон.

«Оптимальна висота ферм h , що відповідає найменшій масі або вартості конструкції залежить від прольоту l , обрису поясів, типу решітки та кількості панелей n . Очевидно, що зі збільшенням висоти ферми знижується маса (вартість) поясів, так як діючі в них зусилля обернено пропорційні висоті ($N_n = \frac{M}{h}$, де M – балковий згинальний момент у відповідному перерізі; h – висота ферми), та підвищуються витрати матеріалу на елементи решітки (збільшуються довжини розкосів та стояків). Для ферм з паралельними поясами та трапецоїдних висота для умови мінімуму маси визначається так:

при трикутній решітці:

$$h_{opt} = \frac{l}{n} \sqrt{0.7n + 1}; \quad (1.2)$$

при розкісній решітці:

$$h_{opt} = \frac{l}{n} \sqrt{\frac{1}{3}(0.7n+1)}; \quad (1.3)$$

при трикутній решітці з додатковими стояками:

$$h_{opt} = \frac{l}{n} \sqrt{\frac{1}{3}(0.7n+1)}; \quad (1.4)$$

Проаналізувавши значення h_{opt} , знайдені за вище наведеними формулами, впливає, що найбільша висота відповідає трикутній решітці, а найменша (приблизно на 40% менша, ніж при трикутній) – розкісній» [1]. При цьому

$$h_{opt} \approx \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{5}\right)l.$$

1.5 Просторова чотиригранна ферма

Просторова ферма може сприймати окрім вертикальних навантажень, горизонтальні (вітрові). Такі ферми в розділяють на чотиригранні ферми (рис. 1.5) та тригранні ферми (рис. 1.6).

Перші складаються з двох плоских вертикальних ферм AB і CD розташованих паралельно одна одній і зв'язаних між собою по верхньому та нижньому поясах поперечними або вітровими зв'язками у вигляді розпірок та діагоналей [10].

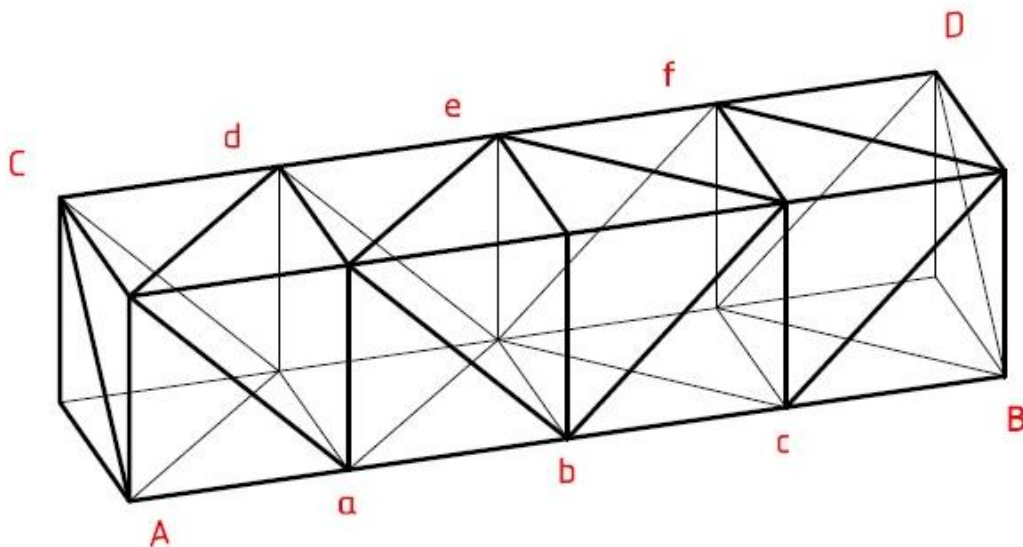


Рисунок 1.5 – Просторова чотиригранна ферма.

Прикладене навантаження до нижнього поясу сприймається вертикальними рамами розкріпленими зв'язками в площинах AC і BD , що забезпечує поперечну стійкість ферми. При прикладанні навантаження до верхнього поясу, в дану схему вводять зв'язки між площинами AC , ad , be , cf , BD [2].

1.6 Просторова тригранна ферма

Другі складаються з трьох поясів які в перетині нагадують рівносторонній або рівнобедрений трикутник. Де пояси між собою з'єднуються в площині $ACDB$ поперечними або вітровими зв'язками у вигляді розпірок та діагоналей, а в площинах $ABFE$ і $CDFE$ решіткою переважно трикутною завдяки своїй економічності на раціональності [4]. На рис. 1.7 проілюстровані типи перерізу поясів тригранної ферми, з яких найчастіше використовують трубчастий через простоту вузлів, тим самим пришвидшуючи виготовлення.

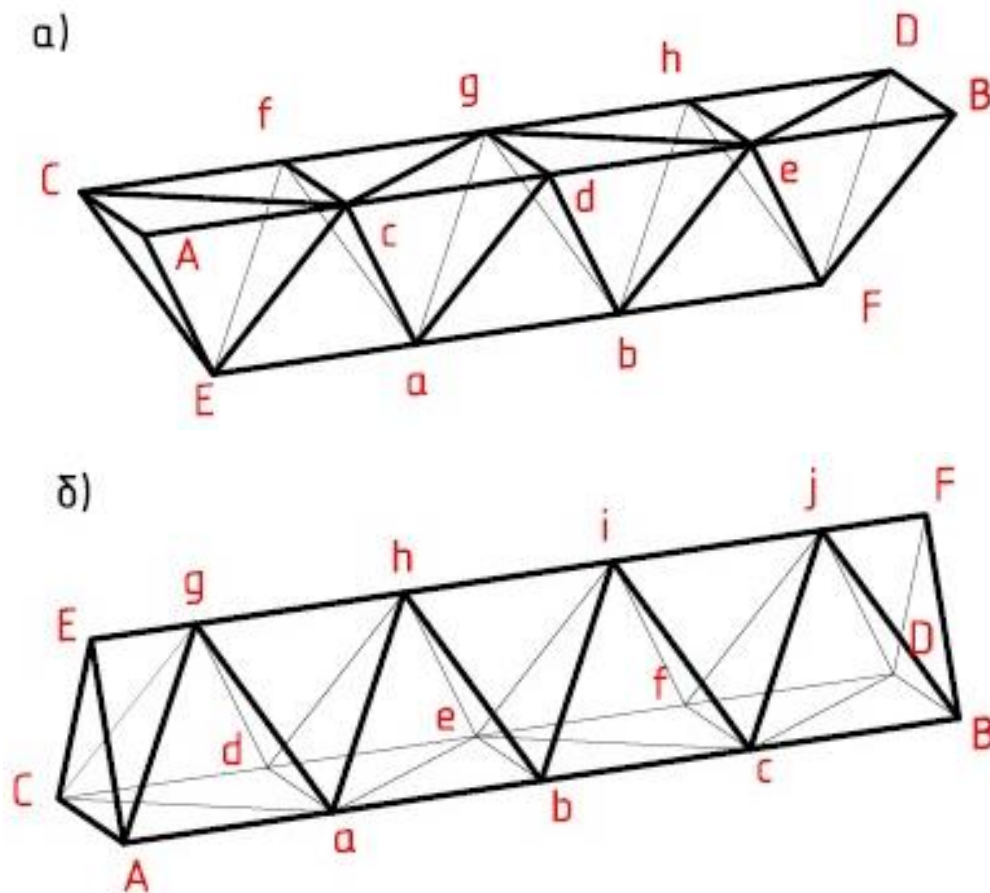


Рисунок 1.6 – Просторові тригранні ферми

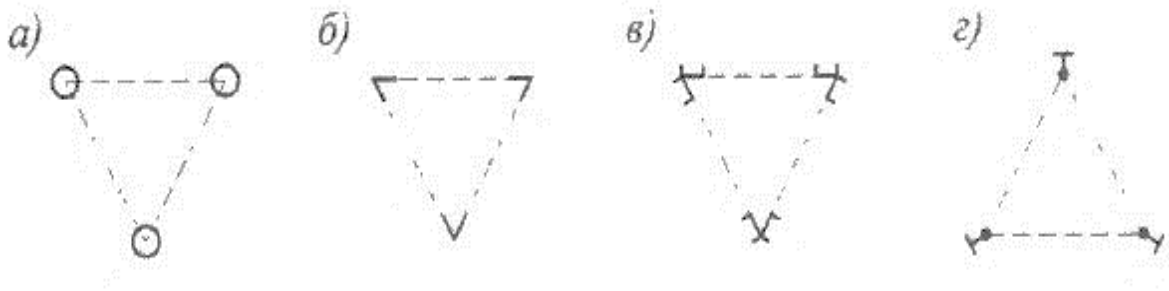


Рисунок 1.7 – Перерізи тригранних просторових ферм:

a – трубчастий; *б* – з кутників; *в* – з швелерів; *г* – із тавра круглого стержня.

1.7 Мета і завдання дослідження

Метою дослідження в даній роботі є встановлення залежностей впливу конструктивних параметрів просторової ферми, зокрема висоти та кута нахилу розкосів, на її тримку здатність та напружено-деформівний стан при заданому навантаженні.

Оскільки різноманітність обрисів просторових ферм, можливих конструкцій їх решіток та варіацій інших конструктивних параметрів є дуже великою, в даному дослідженні ми обмежимося лише наступними двома параметрами:

- 1) висотою ферми;
- 2) кутом нахилу розкосів.

Для подальших досліджень будемо розглядати лише чотиригранну просторову ферму з розкісною решіткою. При цьому перерізи її елементів, довжину та ширину, умови зовнішнього навантаження для всіх варіантів конструкції приймемо незмінними.

Враховуючи вищенаведені обмеження, основні завдання, які ставляться для досягнення вказаної в роботі мети, будуть сформульовані наступним чином:

- розробити ряд скінченно-елементних моделей просторової чотиригранної ферми з варіаціями її конструктивних параметрів – висоти та кута нахилу розкосів;
- дослідити вплив конструктивних параметрів на напружено-деформівний стан та тримку здатність металевих просторових ферм;

- проаналізувати отримані результати з техніко-економічної точки зору застосування в будівельній галузі;
- запропонувати схему з оптимальними конструктивними параметрами за критеріями тримкої здатності та економічності для заданих умов навантаження.

Суть даного дослідження полягає у тому, щоб при однакових прольоті та довжині визначити оптимальний кут нахилу розкосів у решітці просторової ферми.

1.8 Висновки до розділу

З аналізу літературних джерел, виконаного в даному розділі, можна зробити наступні висновки:

- металоконструкції в даний час набули широкого застосування, через свою легкість у виготовленні, економічність, міцність;
- в будівельній галузі дуже широкого використання набули стержневі системи в металевих конструкціях різного призначення;
- напружено-деформівний стан металевих ферм залежить від поєднання багатьох конструктивних параметрів, таких як висота ферми, обрис поясів, тип решітки, що чинять складний комплексний вплив;
- для подальшого дослідження впливу конструктивних параметрів ферм на тривку здатність взято чотириохгранну просторову ферму, оскільки даний тип характеризується вищою несучою здатністю та більшим спектром варіативності конструктивних параметрів.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вибір розрахункової моделі

Проаналізувавши інформацію про просторові конструктивні елементи ферми [8], порівнявши їх основні параметри, встановлено, що просторові чотириохгранні ферми мають широке застосування в світі. Позаяк використання такого типу ферм зростає, тому є потреба в дослідженні їх основних параметрів для отримання найбільш раціональної конструкції при заданих вихідних умовах (довжина прольоту, зовнішнє навантаження, тип перерізу тощо). Розрахункова схема представлена в якості проміжної моделі (рис. 2.1) для визначення напружено-деформованого стану, що дозволяє оцінити такі показники конструкції як її здатність бути зведеною, надійно експлуатованою, економічною.

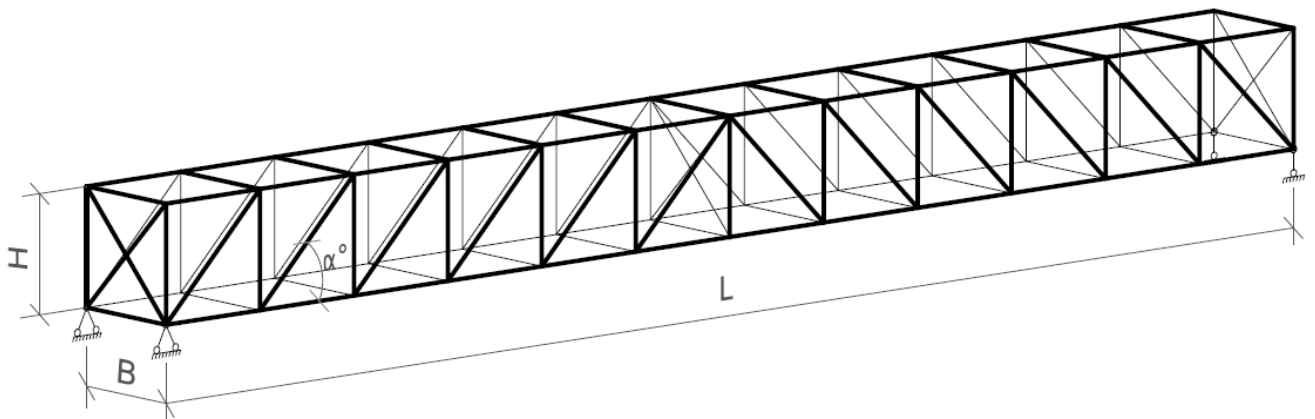


Рисунок 2.1 – Модель досліджуваної ферми

Дана модель досліджуваної ферми володіє наступними конструктивними параметрами:

- Довжина ферми незмінна $L = 18$ м.
- Висота ферми представлена трьома варіантами $H = 1,5$ м; $2,15$ м, $2,8$ м.
- Ширина ферми незмінна $B = 1,5$ м.

- Тип решітки незмінний – розкісна.
- Дана схема завантажувалась 2 навантаженнями,
 - 1 – Власна вага (постійне)
 - 2 – Технологічне навантаження (постійне)
- Кут нахилу (α) розкосів варіюватиметься з кроком 5° в межах 45° - 65° включно, тобто матиме п'ять варіантів.
- Обпирання ферми по двох крайніх вузлах, з одного боку жорстке, з іншого шарнірно рухоме. Тобто заборонені переміщення у:
 - жорсткому закріпленні вузла нижнього поясу – (X, Y, Z)
 - рухомому закріпленні вузла нижнього поясу – (X, Z)

Таким чином, враховуючи різні можливі комбінації конструктивних параметрів, одержуємо 3 серії ферм для дослідження (А, Б, В – з різною висотою) та 5 варіантів у кожній серії (1-5 – з різним кутом нахилу розкосів). Ширина ферми залишалася фіксованою, виходячи з параметрів трубопроводу.

Для того, щоб виключити вплив інших параметрів, зокрема перерізу елементів, на можливість прямого співставлення результатів розрахунку ферм різних серій жорсткість елементів поясу та розкосів була однаковою. Їх геометричні параметри наведено в таблиці 2.1. Матеріал елементів – сталь 20.

Всі варіанти ферм розраховувалися на однакове технологічне навантаження сумарною величиною $Q = 420$ кН, визначене з параметрів експлуатації трубопроводу, для підтримки якого використовується досліджувана конструкція. Навантаження на ферму прикладалося у вузлах, що в поєднанні з різною геометрією варіантів конструкції призводить до необхідності визначення конкретного вузлового навантаження в кожному випадку окремо.

Для того, щоб не виникало згину та моменту в стержнях просторової ферми, і щоб їх зусилля зводилося до розтягу і стиску, усі схеми моделювались з дотриманням наступних вимог [5]:

- зовнішнє навантаження прикладалось суто у вузлах ферми;
- окремі стержні шарнірно з'єднувались з іншими елементами;
- всі стержні прямолінійні;

- зусилля в стержнях мають діяти за напрямком осі стержня.

Таблиця 2.1 – Таблиця жорсткостей елементів ферми (поточні).

Тип жорсткості	Назва	Параметри
1	Труба 50 x 6 (Пояс)	$q = 0.0638215 \text{ кН/м}$, $EF = 170852 \text{ кН}$, $EI_y = 42.1 \text{ кНм}^2$, $EI_z = 42.1 \text{ кНм}^2$, $GI_k = 31.9 \text{ кНм}^2$, $Y_1 = 0.986 \text{ см}$, $Y_2 = 0.986 \text{ см}$, $Z_1 = 0.986 \text{ см}$, $Z_2 = 0.986 \text{ см}$
2	Труба 45 x 5 (Розкоси)	$q = 0.0483496 \text{ кН/м}$ $EF = 129434 \text{ кН}$, $EI_y = 26.3 \text{ кНм}^2$, $EI_z = 26.3 \text{ кНм}^2$, $GI_k = 19.9 \text{ кНм}^2$, $Y_1 = 0.903 \text{ см}$, $Y_2 = 0.903 \text{ см}$, $Z_1 = 0.903$, $Z_2 = 0.903 \text{ см}$

2.2 Вибір методу моделювання та програмного забезпечення

Шляхом використання досконаліших конструкцій, зниження ваги, зменшення витрат матеріалів, збільшення довговічності, тріщиностійкості і жорсткості елементів досягається зниження вартості об'єктів будівництва. Що безпосередньо є запорукою розвитку будівельної індустрії.

Одним із альтернативних методів зниження кошторисної вартості будівельних конструкцій є економне проектування. Важливою складовою цього методу є використання сучасних інформаційних технологій, які дозволяють суттєво зменшити витрати часу на моделювання, розрахунок та й в цілому проектування конструкцій, завдяки широкому використанню автоматизації проектних процедур.

«При виконанні науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт зростає використання різного програмне забезпечення (ПЗ), яке можна розділити наступним чином:

- 1) ПЗ для оформлення документації (текстові, табличні та графічні редактори);
- 2) математичні пакети (MAPLE, MATLAB, Mathematica, MathCAD, АВК);
- 3) системи автоматизованого проектування (AutoCAD, ArchiCAD, Revit, Компас);
- 4) програмні комплекси для моделювання конструкцій (ANSYS, ЛІРА, SCAD)» [7].

Застосування цих типів програмного забезпечення надає такі переваги:

- перенесення основного акценту на розробку конструктивних рішень з їх математичних розрахунків;
- підвищення продуктивності праці;
- зменшення часових та матеріальних затрат на розрахунок і проектування конструкцій;
- легко організувати архівування та резервне копіювання проектів;
- повторне використання апробованих методів розрахунку, окремих вузлів конструкцій, шаблонів оформлення документації.

За рахунок збільшення потужності сучасної обчислювальної техніки (швидкодії та пам'яті) і застосуванню сучасних методів будівельної механіки з'являється можливість врахувати при моделюванні всі конструктивні особливості споруди та властивості матеріалів безпосередньо в дискретній розрахунковій схемі.

За рахунок наведених переваг комп'ютерні моделі у ряді випадків переважають над випробування натурних зразків. Саме тому в даній роботі для досліджень обрано метод чисельного моделювання з використанням методу скінченних елементів. Для виконання розрахунків використано програмний комплекс ЛІРА-САПР 2015.

2.3 Суть методу скінченних елементів

Для моделювання життєвого циклу конструкцій використовують програмні комплекси, за допомогою яких проводиться моделювання процесів зведення, та процесів навантаження на всіх стадіях експлуатації. Найперспективнішим для моделювання конструкцій є використання тих програмних комплексів, робота яких базується на використанні методу скінченних елементів.

Метод скінченних елементів (МСЕ) – це чисельний метод вирішення задач прикладної фізики, «який ґрунтується на уявному представленні суцільного тіла у вигляді сукупності окремих скінченних елементів, що взаємодіють між собою в скінченному числі точок, які називаються вузлами. Ключова ідея методу при аналізі поведінки конструкцій полягає в наступному: суцільне середовище (конструкція в цілому) моделюється шляхом розбиття її на області (скінченні елементи), в кожній з яких поведінка середовища описується за допомогою окремого набору вибраних функцій, що представляють напруження і переміщення у вказаній області. Ці набори функцій часто задаються в такій формі, щоб задовольняти умовам неперервності описуваних ними характеристик у всьому середовищі» [6].

За допомогою програмного комплексу ЛПА-САПР можна змоделювати найбільш раціональну в конструктивному відношенні будь-яку просторову ферму, щоб отримати жорстку систему, геометрично-незмінну і водночас статично визначувану, а також щоб уникнути перевитрат матеріалів і отримати легку конструкцію. Програмний комплекс ЛПА (ПК ЛПА) – це «багатофункціональний програмний комплекс для розрахунку, дослідження і проектування конструкцій різного призначення. ПК ЛПА заснований на використанні методу скінченних елементів (МСЕ) у формі переміщень, який є основним інструментом чисельного аналізу міцності та стійкості будівельних конструкцій в наш час» [7].

2.4 Побудова розрахункової моделі

Загальна схема чотиригранної просторової ферми, яка розглядається в даній роботі, представлена на рис. 2.2. За допомогою ПК ЛІРА побудовано розрахункову модель (рис. 2.3) з двох плоских вертикальних ферм розташованих паралельно одна одній (ao і bk) і зв'язані між собою по верхній (dsko) та нижній (abji) площинах поперечними або вітровими зв'язками у вигляді розпірок, також в площинах (abcd, efgb, ijko) зв'язані навхрест діагональними зв'язками. Схему навантаження №1 (рис. 2.4) використовуємо при однаковій довжині панелей. Схему навантаження №2 (рис. 2.5) використовуємо при різній довжині панелей.

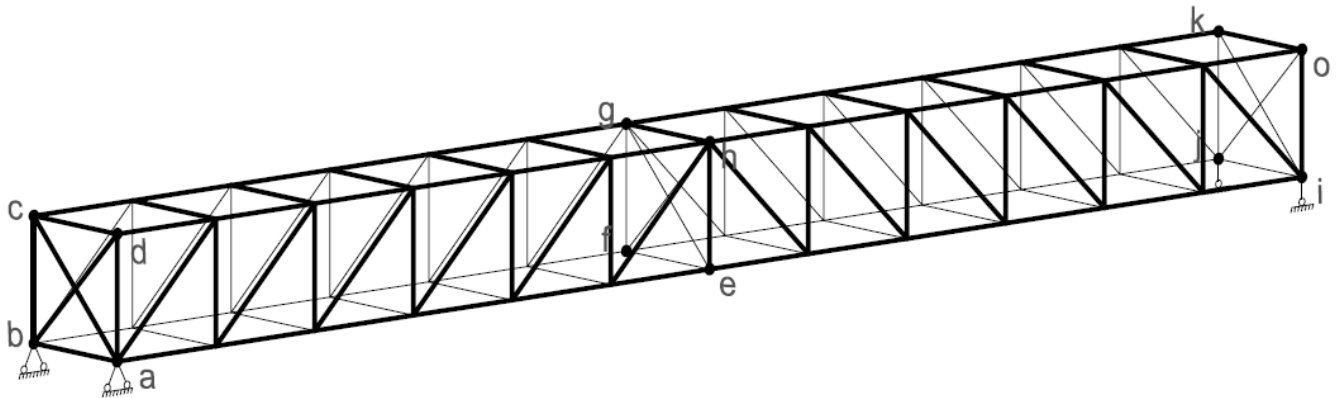


Рисунок 2.2 – Схема чотиригранної просторової ферми

Скінченно-елементні моделі ПК ЛІРА, розроблені для всіх варіантів конструкцій ферм, що розглядаються в роботі, характеризувалися наступними параметрами:

- ознака схеми – 5 (просторова задача);
- кількість степенів вільності – 6;
- постановка задачі – лінійна;
- тип скінченних елементів – SE10 (універсальний просторовий стержневий скінченний елемент);
- розрахунок за розрахунковими сполученнями навантажень (РСН);

- перевірка сталевих конструкцій – за першим граничним станом (міцність, стійкість), другим граничним станом (жорсткість) та місцевою стійкістю.

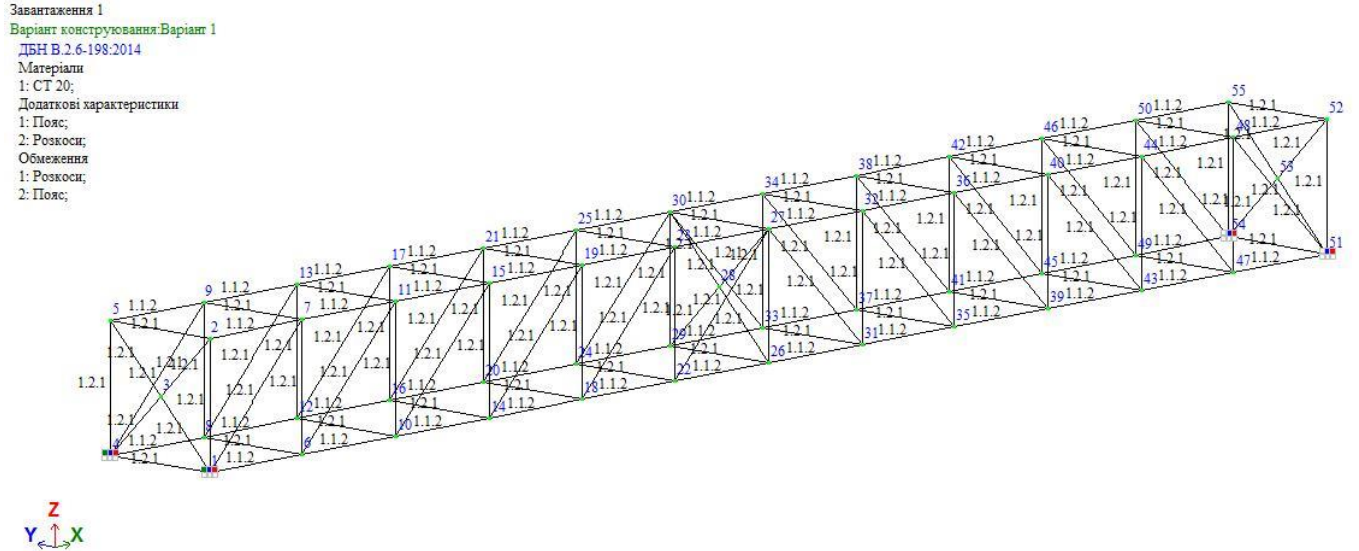


Рисунок 2.3 – Розрахункова модель ПК ЛІРА

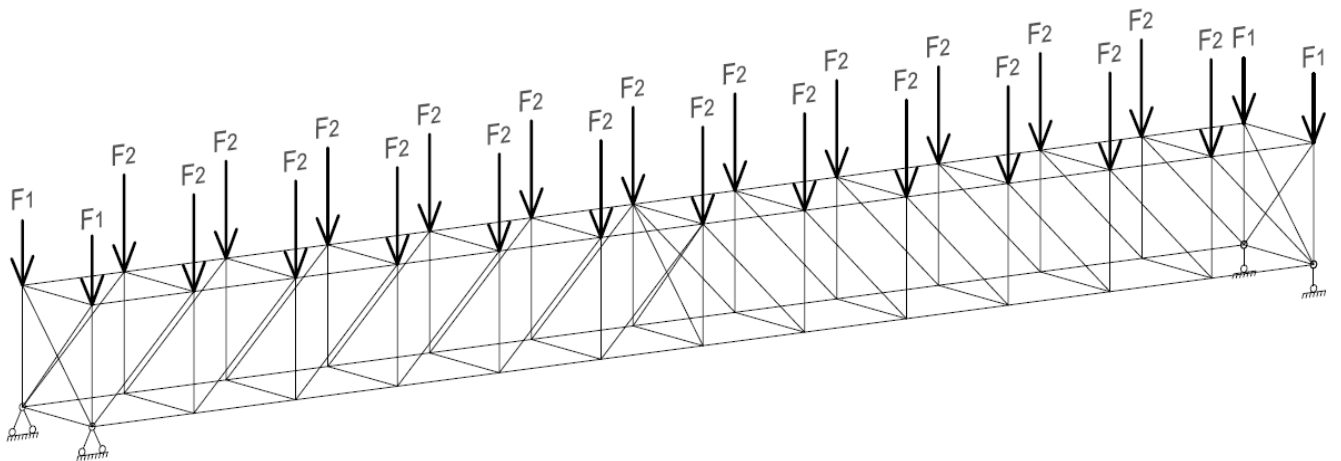


Рисунок 2.4 – Схема №1 прикладання технологічного навантаження

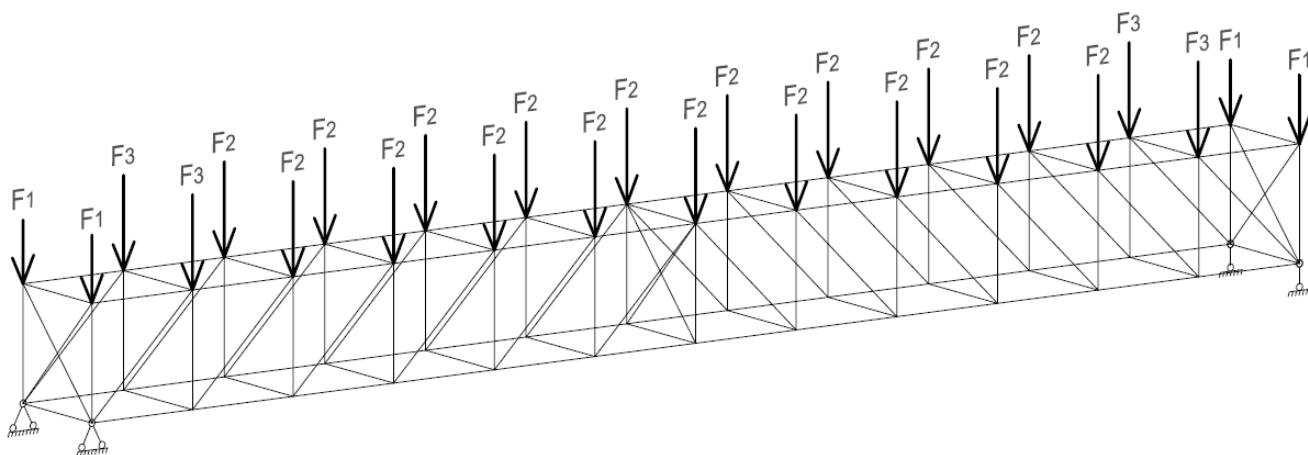


Рисунок 2.5 – Схема №2 прикладання технологічного завантаження

2.4.1 Параметри розрахункових моделей ферм серії А (Н = 1,5 м).

Загальний вигляд розрахункових моделей для ферм з висотою $H = 1,5$ м наведено на рис. 2.6.

Дана серія включає 5 моделей з різними кутами нахилу розкосів. Їх конструктивні параметри наведені в табл. 2.2. Значення навантажень на схему наведено в табл. 2.3.

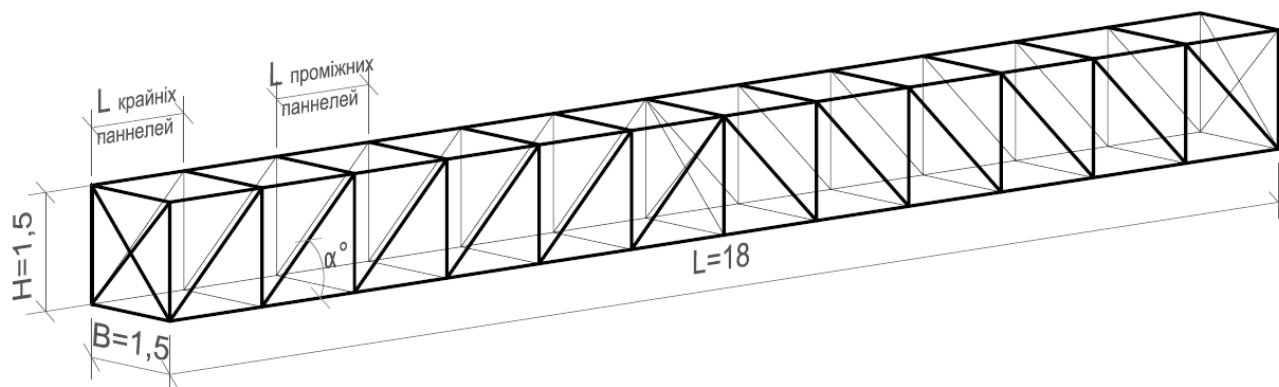


Рисунок. 2.6 – Загальна розрахункова модель ферм серії А

2.4.2 Параметри розрахункових моделей ферм серії Б (Н = 2,15 м).

Загальний вигляд розрахункових моделей для ферм з висотою $H = 2,15$ м наведено на рис. 2.7.

Дана серія включає 5 моделей з різними кутами нахилу розкосів. Їх конструктивні параметри наведені в табл. 2.4. Значення навантажень на схему наведено в табл. 2.5.

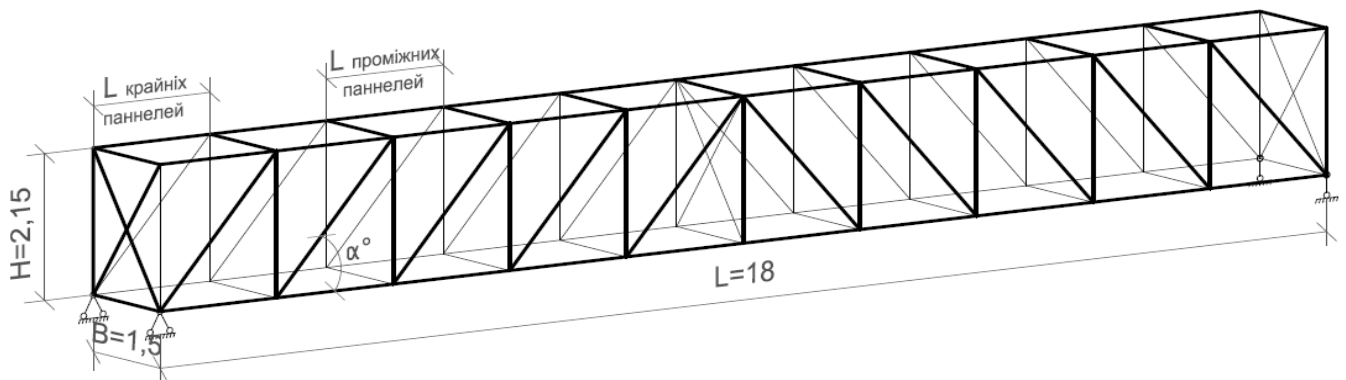


Рисунок. 2.7 – Загальна розрахункова модель ферм серії Б

2.4.3 Параметри розрахункових моделей ферм серії В (Н = 2,8 м).

Загальний вигляд розрахункових моделей для ферм з висотою $H = 2,8$ м наведено на рис. 2.8.

Дана серія включає 5 моделей з різними кутами нахилу розкосів. Їх конструктивні параметри наведені в табл. 2.6. Значення навантажень на схему наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.2 – Конструктивні параметри ферм серії А.

Варіант	Довжина ферми L, м	Довжина панелі l, м	Висота ферми H, м	Ширина ферми B, м	Кут нахилу α	Навантаження
A1	18	1,5	1,5	1,5	45°	Схема 1
A2	18	1,25	1,5	1,5	50°	Схема 2
A3	18	1,05	1,5	1,5	55°	Схема 2
A4	18	0,87	1,5	1,5	60°	Схема 2
A5	18	0,7	1,5	1,5	65°	Схема 2

Таблиця 2.3 – Навантаження на ферми серії А.

№ завант.	Місце прикладання	Тип завант.	Напрямок	Місцеве / Глобальне	Варіант				
					A1	A2	A3	A4	A5
1	Пояси	g - розподіл. сила	Z	Г	0.0638	0.0638	0.0638	0.0638	0.0638
1	Елем. решітки	g - розподіл. сила	Z	Г	0.0484	0.0484	0.0484	0.0484	0.0484
2	Крайні вузли верхнього поясу	F1 - сила	Z	Г	11.35	10.8	10.76	8.3	5.76
2	Середні вузли верхнього поясу	F2 - сила	Z	Г	17.03	14.359	14.35	10.08	7.96
2	Середні вузли верхнього поясу	F3 - сила	Z	Г	-	15.3	12.29	11.01	7.686

Таблиця 2.4 – Конструктивні параметри ферм серії Б.

Варіант	Довжина ферми L, м	Довжина панелі l, м	Висота ферми H, м	Ширина ферми B, м	Кут нахилу α	Навантаження
Б1	18	2,15	2,15	1,5	45°	Схема 2
Б2	18	1,8	2,15	1,5	50°	Схема 1
Б3	18	1,5	2,15	1,5	55°	Схема 1
Б4	18	1,25	2,15	1,5	60°	Схема 2
Б5	18	1,0	2,15	1,5	65°	Схема 1

Таблиця 2.5 – Навантаження на ферми серії Б.

№ завант.	Місце прикладання	Тип завант.	Напрямок	Місцеве / Глобальне	Варіант				
					Б1	Б2	Б3	Б4	Б5
1	Пояси	g - розподіл. сила	Z	Г	0.0638	0.0638	0.0638	0.0638	0.0638
1	Елем. решітки	g - розподіл. сила	Z	Г	0.0484	0.0484	0.0484	0.0484	0.0484
2	Крайні вузли верхнього поясу	F1 - сила	Z	Г	17.18	13.2	11.35	10.77	8.14
2	Середні вузли верхнього поясу	F2 - сила	Z	Г	24.6	20.4	17.03	14.36	11.39
2	Середні вузли верхнього поясу	F3 - сила	Z	Г	26.3	-	-	11.01	-

Таблиця 2.6 – Конструктивні параметри ферм серії В.

Варіант	Довжина ферми L, м	Довжина панелі l, м	Висота ферми H, м	Ширина ферми B, м	Кут нахилу α	Навантаження
B1	18	2,8	2,8	1,5	45°	Схема 2
B2	18	2,35	2,8	1,5	50°	Схема 2
B3	18	1,95	2,8	1,5	55°	Схема 2
B4	18	1,62	2,8	1,5	60°	Схема 2
B5	18	1,3	2,8	1,5	65°	Схема 2

Таблиця 2.7 – Навантаження на ферми серії В.

№ завант.	Місце прикладання	Тип завант.	Напрямок	Місьцеве / Глобальне	Варіант				
					B1	B2	B3	B4	B5
1	Пояси	g - розподіл. сила	Z	Г	0.0638	0.0638	0.0638	0.0638	0.0638
1	Елем. решітки	g - розподіл. сила	Z	Г	0.0484	0.0484	0.0484	0.0484	0.0484
2	Крайні вузли верхнього поясу	F1 - сила	Z	Г	22.12	14.64	10.8	9.08	9.693
2	Середні вузли верхнього поясу	F2 - сила	Z	Г	32.06	26.3	21.6	17.93	14.72
2	Середні вузли верхнього поясу	F3 - сила	Z	Г	34.76	24.6	18.6	15.21	14.36

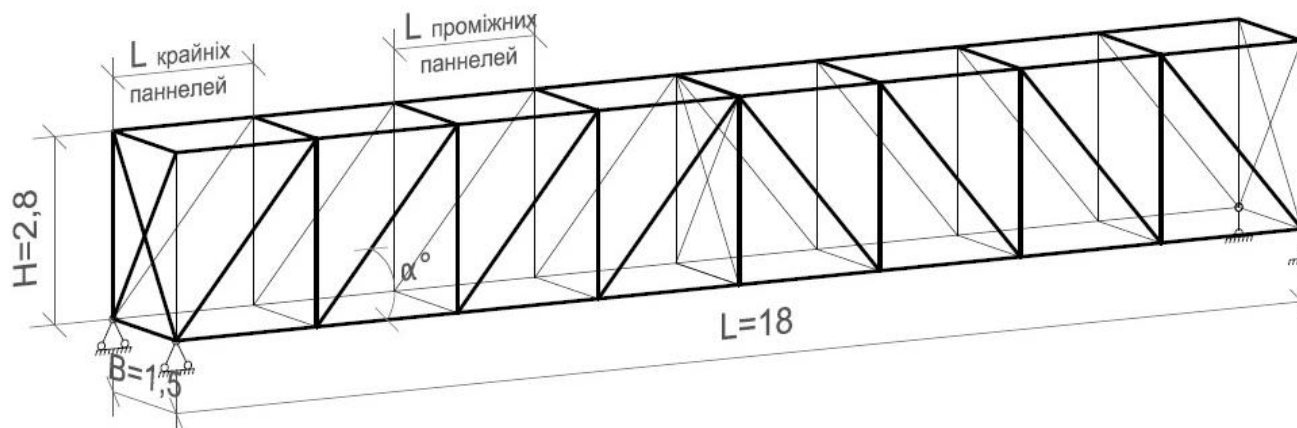


Рисунок. 2.8 – Загальна розрахункова модель ферм серії В

2.5 Висновки до розділу

З аналізу методики експериментальних досліджень, виконаного в даному розділі, можна зробити наступні висновки:

- найбільш доцільним методом дослідження багатоваріантних конструктивних схем просторових ферм є метод комп'ютерного чисельного моделювання, оскільки він дозволяє достовірно та детально визначити напружено-деформівний стан конструкцій при мінімальних часових та матеріальних затратах;

- для моделювання та розрахунку конструкцій вибрано програмний комплекс ЛПРА, що реалізує метод скінченних елементів у формі переміщень;

- розроблено скінченно-елементні моделі конструктивних схем просторових чотиригранних ферм з трьома варіантами висоти ферми (1,5; 2,15; 2,8 м) та п'ятьма варіантами кута нахилу розкосів (45°, 50°, 55°, 60°, 65°).

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ТРИМКУ ЗДАТНІСТЬ ФЕРМИ

3.1 Аналіз отриманих результатів дослідження просторових ферм серії А (Н = 1,5 м)

На основі проведеного статичного розрахунку просторових ферм серії А отримано результати напружено-деформованого стану, які наведені в табл. 3.1. Детальні дані приведено в додатку А.

Таблиця 3.1 – Результати напружено-деформованого стану ферм серії А

№ варіанту	Кут нахилу розкосів α , °	Макс. прогин по Z, мм	Макс. зусилля N + кН	Макс. зусилля N- кН	1 ГС, %	2 ГС, %
1А	45	96.3	314.75	305.97	190	96.3
2А	50	97.3	318.39	312.22	194	99.8
3А	55	99.5	323.95	319.51	191	97.5
4А	60	100	322.85	319.81	198	104
5А	65	102	319.41	317.47	190	96.4

На основі таблиці 3.1 побудовані графіки залежності максимального прогину по осі Z (рис. 3.1), максимальних поздовжніх зусиль в стержнях на стиск та розтяг (рис. 3.2) та вичерпання несучої здатності за граничними станами (рис. 3.3) від кута нахилу розкосів.

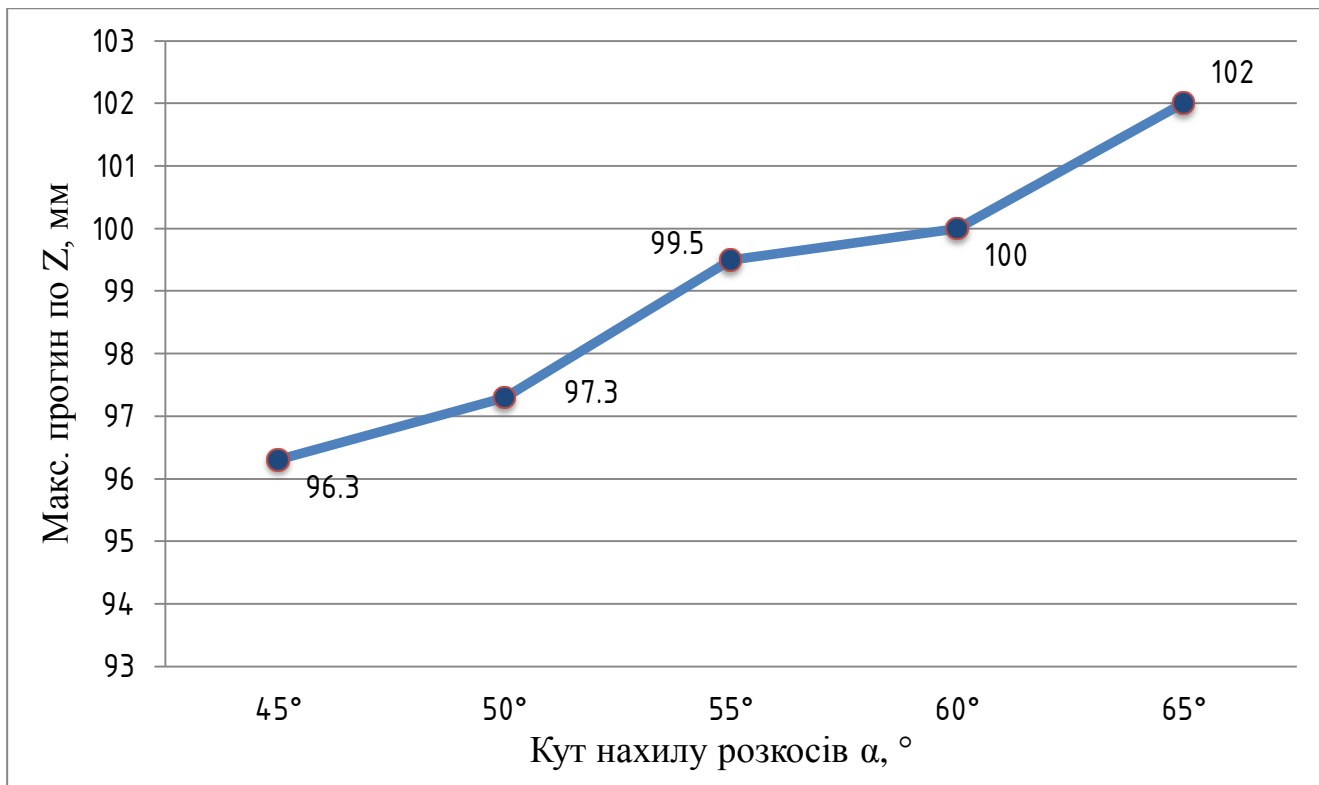


Рисунок 3.1 – Максимальний прогин відносно осі Z

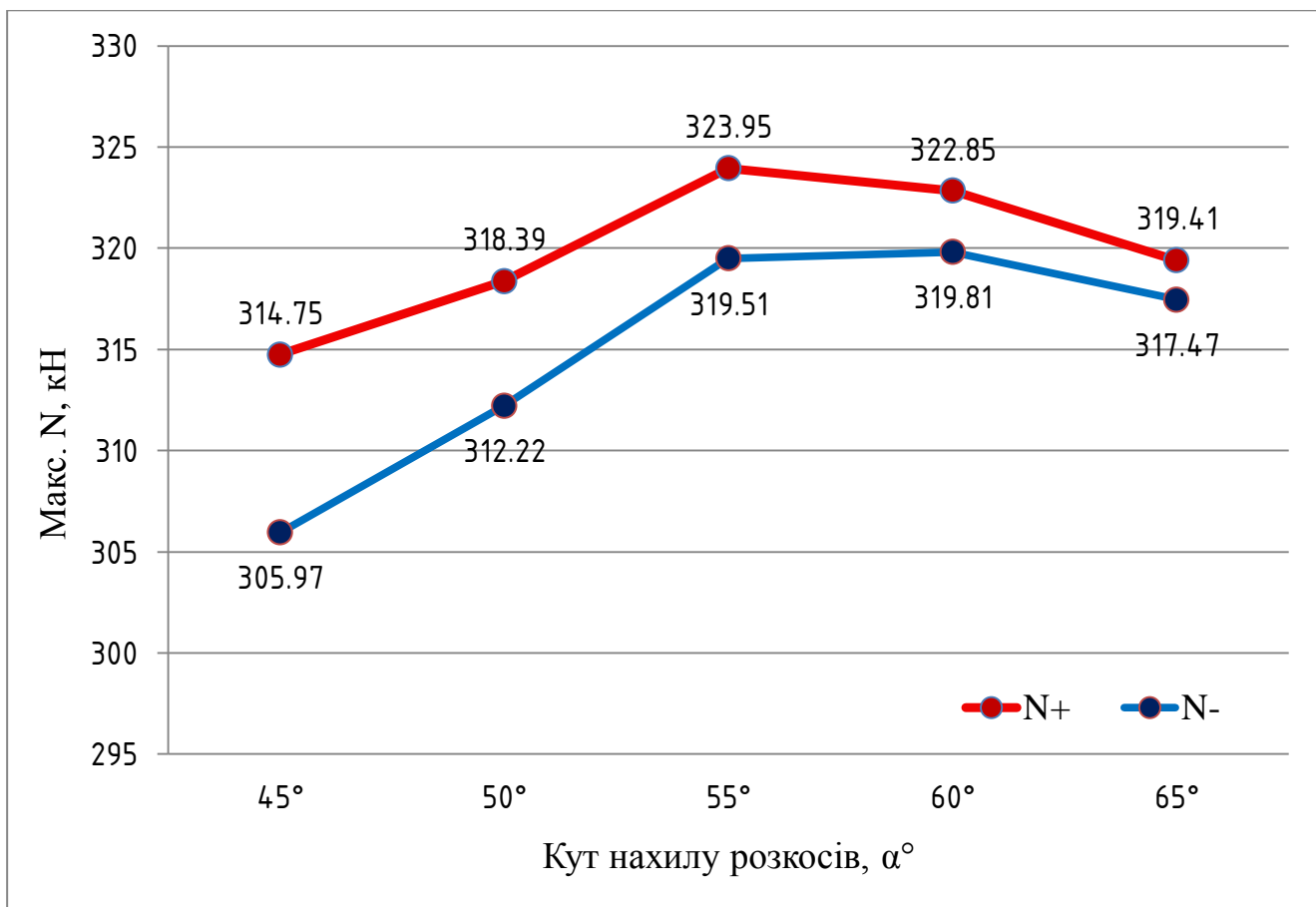


Рисунок 3.2 – Максимальні повздовжні зусилля стержнях на розтяг та стиск

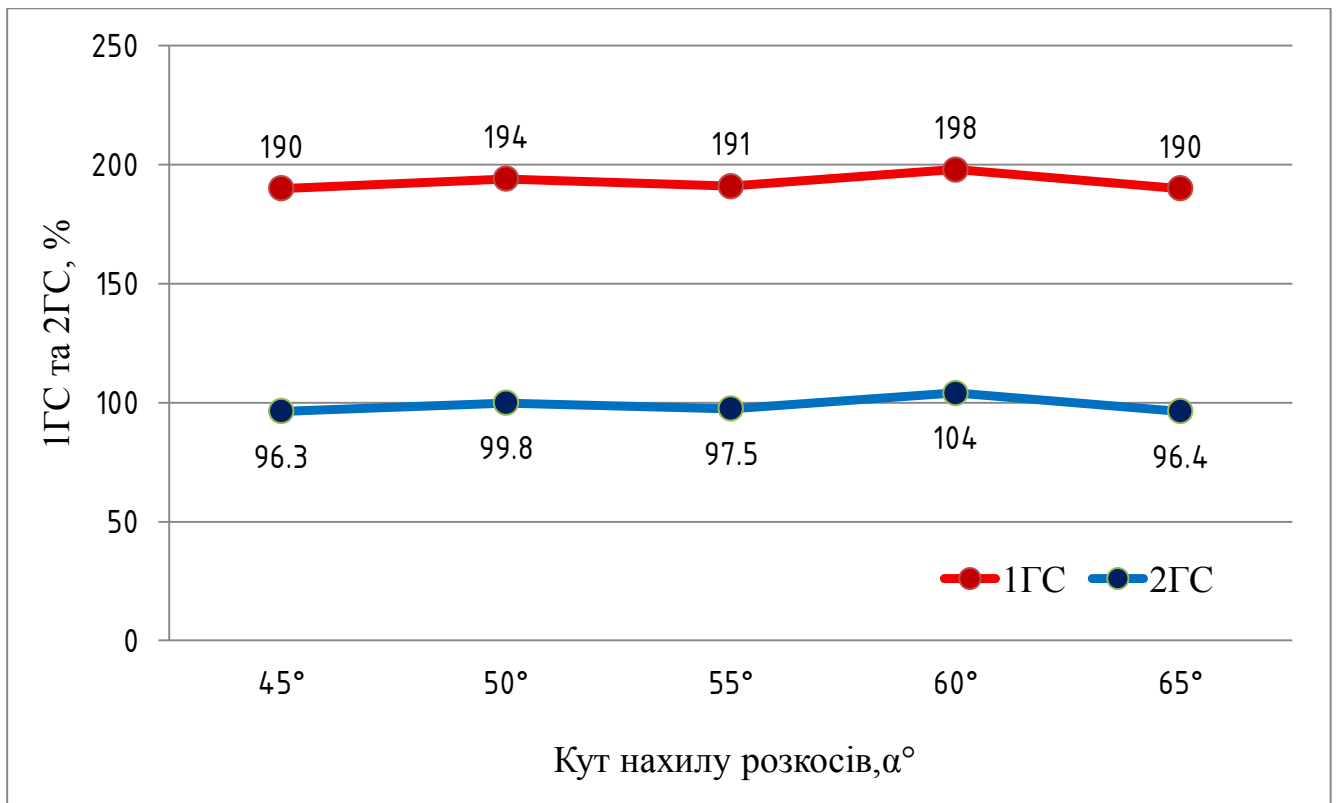


Рисунок 3.3 – Вичерпання несучої здатності за граничними станами

Дані графіки показують нам залежність напружено-деформованого стану конструкції ферми від кута нахилу розкосів при дії власної ваги ферми та технологічного навантаження.

На рис. 3.1 видно, що максимальний прогин (102 мм) у варіанту 5А, відповідно мінімальний прогин (96,3 мм) у варіанту 1А. Тоді у відсотковому співвідношенні прогин ферми у варіанті 1А нижчий на 5,59%, від прогину ферми у варіанті 5А.

На рис. 3.2 у перших трьох варіантах прослідковується подібна динаміка зростання величини зусиль (N^+ та N^-) зумовлена збільшенням кута α , в останніх двох варіантах спад величини через перерозподіл зусиль в елементах поясу та збільшення перерізуючі сил.

Варто відзначити, що у всіх випадках максимальні нормальні сили розтягу (N^+) у нижніх поясах ферми більші по модулю за максимальні нормальні сили стиску (N^-), які спостерігаються у верхніх поясах. Дана різниця також дещо змінюється в залежності від кута нахилу розкосів – від 8,78 кН для варіанту 1А до

1,94 кН для варіанту 5А. Аналогічні залежності будуть спостерігатися і для нормальних напружень, оскільки переріз верхніх і нижніх поясів прийнятий однаковим.

На рис. 3.3 видно, що жодна ферма із серії А не проходить перевірку по першому граничному стану через втрату стійкості розкосів на приопорних ділянках та у верхніх поясах посередині прольоту ферм. З результатів по другому граничному стану видно, що варіант 4А не проходить перевірку через перевищення гранично допустимої гнучкості у верхніх поясах посередині прольоту ферми. Для інших варіантів даної серії несуча здатність за другою групою граничних станів вичерпана, значення близькі до 100%.

3.2 Аналіз отриманих результатів дослідження просторових ферм серії Б (Н = 2,15 м)

На основі проведеного статичного розрахунку просторових ферм серії Б отримано результати напружено-деформованого стану, які наведені в табл. 3.2. Детальні дані приведено в додатку Б.

Таблиця 3.2 – Результати напружено-деформованого стану ферм серії Б

№ варіанту	Кут нахилу розкосів α , °	Макс. прогин по Z, мм	Макс. зусилля N + кН	Макс. зусилля N- кН	1 ГС, %	2 ГС, %
1Б	45	54	220.31	207.65	89	62
2Б	50	53.1	219.38	210.57	91	62.7
3Б	55	53.9	214.15	220.29	88	61.7
4Б	60	55.4	223.09	218.76	96	64.6
5Б	65	57.9	222.65	219.88	92	63

На основі одержаних результатів побудовані графіки залежності максимального прогину по осі Z (рис. 3.4), максимальних поздовжніх зусиль в

стержнях на стиск та розтяг (рис. 3.5) та вичерпання несучої здатності за граничними станами (рис. 3.6) від кута нахилу розкосів.

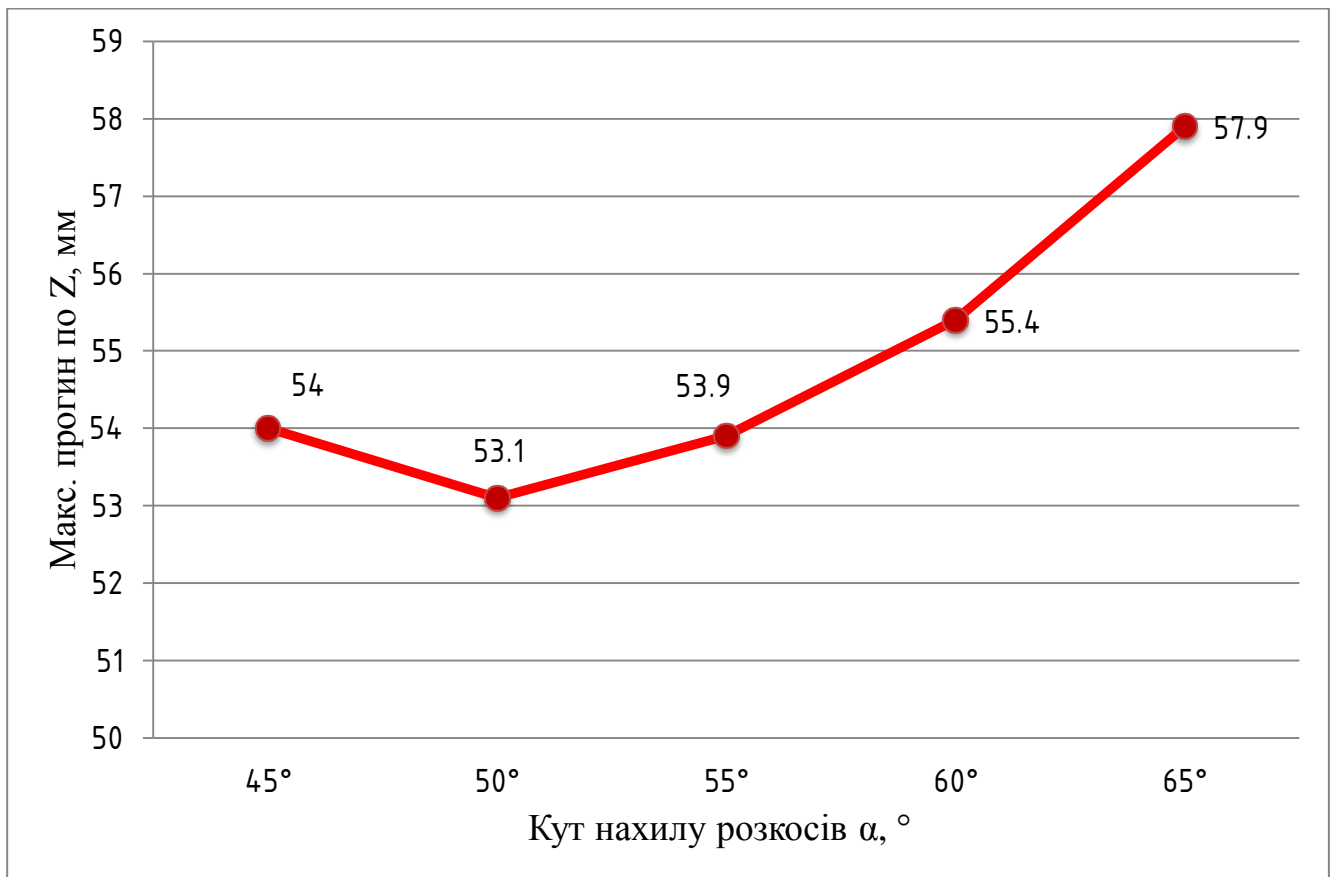


Рисунок 3.4 – Максимальний прогин відносно осі Z

Дані графіки показують залежність напружено-деформованого стану конструкції ферми від кута нахилу розкосів при дії власної ваги ферми та технологічного навантаження.

На рис. 3.4 видно, що максимальний прогин (57,9 мм) у варіанту 5Б, відповідно мінімальний прогин (53,1 мм) у варіанту 2Б. Тоді у відсотковому співвідношенні прогин ферми у варіанті 2Б нижчий на 8,29% від прогину ферми у варіанті 5Б.

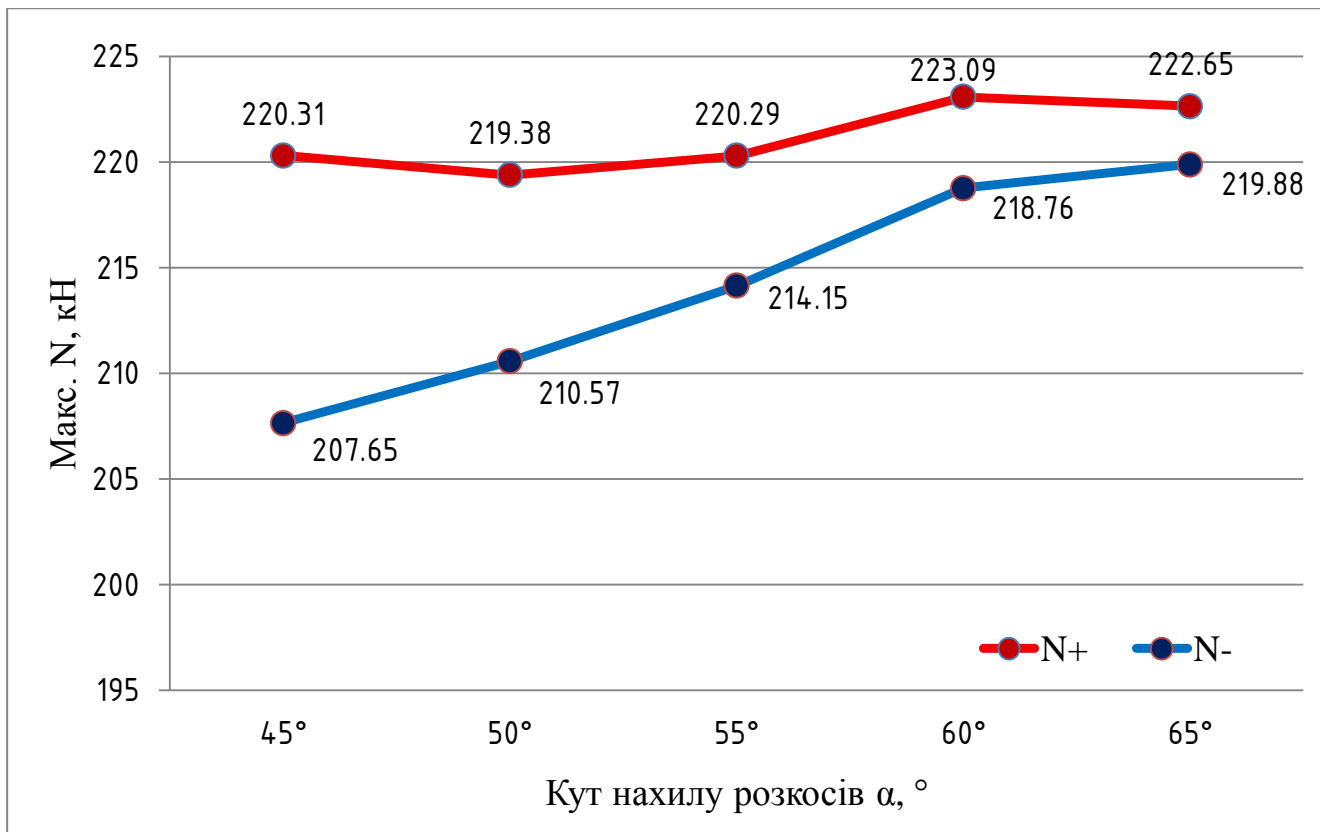


Рисунок 3.5 – Максимальні повздовжні зусилля стержнях на розтяг та стиск

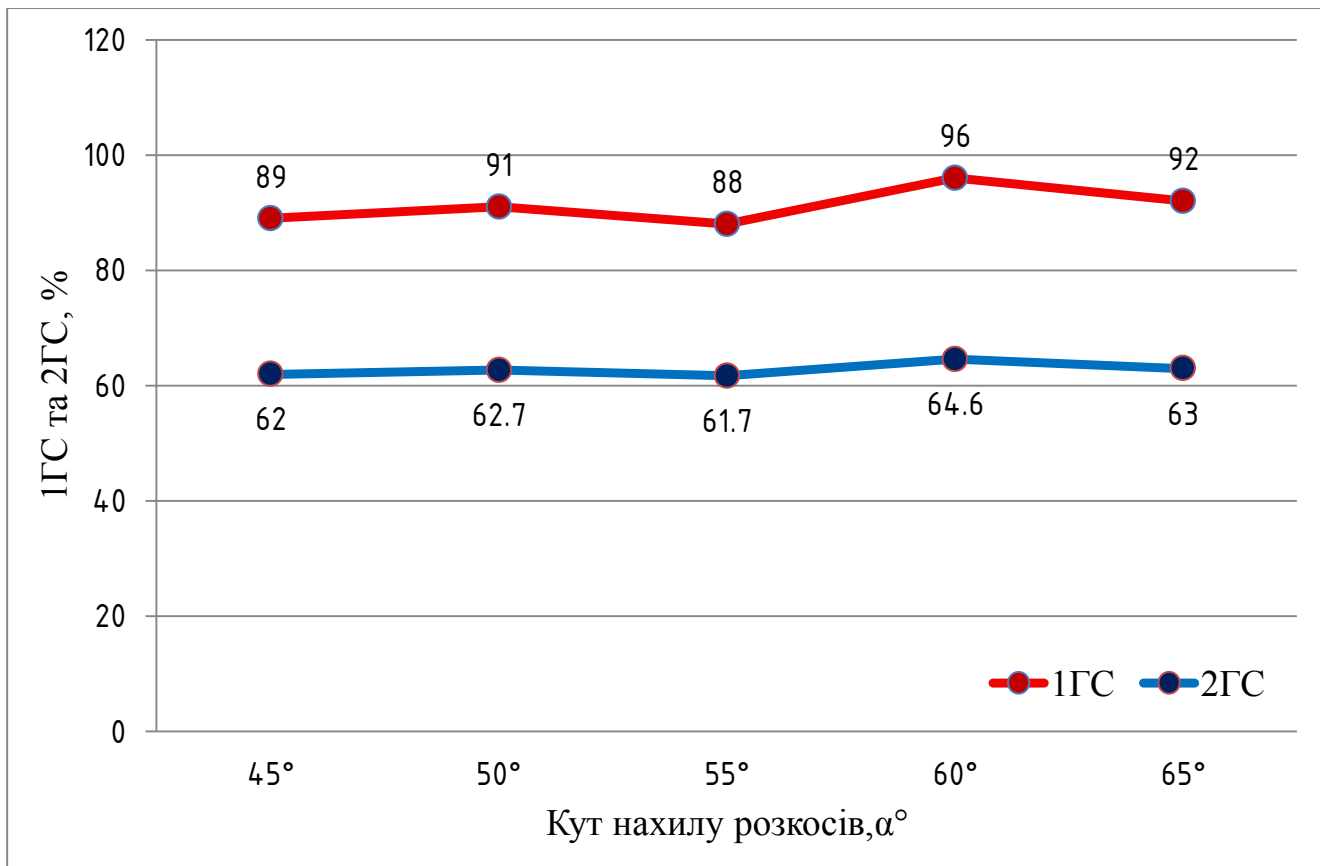


Рисунок 3.6 – Вичерпання несучої здатності за граничними станами

На рис. 3.5 прослідковується подібна залежність як і для ферм серії А – зростання нормальних сил в елементах поясу при збільшенні кута нахилу розкосів. Проте в даному випадку таке зростання є практично монотонним, поперечні сили незначні і їх вплив на НДС проявляється тільки у варіанті 5Б.

На відміну від серії А, різниця між максимальними значеннями нормальних сил розтягу N^+ та стиску N^- тут дещо вища та змінюється від 12,66 кН для 1Б до 2,77 кН для 5Б.

Можна відмітити незначну аномалію у варіанті 1Б – величина зусиль N^+ дещо більша в порівнянні з варіантами 2Б та 3Б. Це говорить про те, що в даному варіанті ферми збільшене розтягуюче зусилля, що в підсумку вплинуло на просідання, яке для варіанту 1Б також дещо більше.

На рис. 3.6 видно, усі варіанти ферм із серії Б проходять перевірку по першому і другому граничному стану. При цьому відсоток вичерпання несучої здатності за граничними станами у варіанту 4Б дещо вищий, у варіанта 3Б відсотки вичерпання несучої здатності мінімальні.

3.3 Аналіз отриманих результатів дослідження просторових ферм серії В (H = 2,8 м)

На основі проведеного статичного розрахунку просторових ферм серії В отримано результати напружено-деформованого стану, які наведені в табл. 3.3. Детальні дані приведено в додатку В.

На основі одержаних даних побудовані графіки залежності максимального прогину по осі Z (рис. 3.7), максимальних поздовжніх зусиль в стержнях на стиск та розтяг (рис. 3.8) та вичерпання несучої здатності за граничними станами (рис. 3.9) від кута нахилу розкосів.

Таблиця 3.3 – Результати напружено-деформованого стану ферм серії В

№ Варіанту	Кут нахилу розкосів, °	Макс. прогин по Z, мм	Макс. зусилля N + кН	Макс. зусилля N- кН	1 ГС, %	2 ГС, %
1В	45	37.1	168.84	152.36	113	51,7
2В	50	35.9	166.73	155.35	66.3	52.1
3В	55	37.1	165.59	157.59	64.4	51.6
4В	60	38.7	165.85	160.46	69.5	52.9
5В	65	40.7	169.92	166.35	69.5	52.9

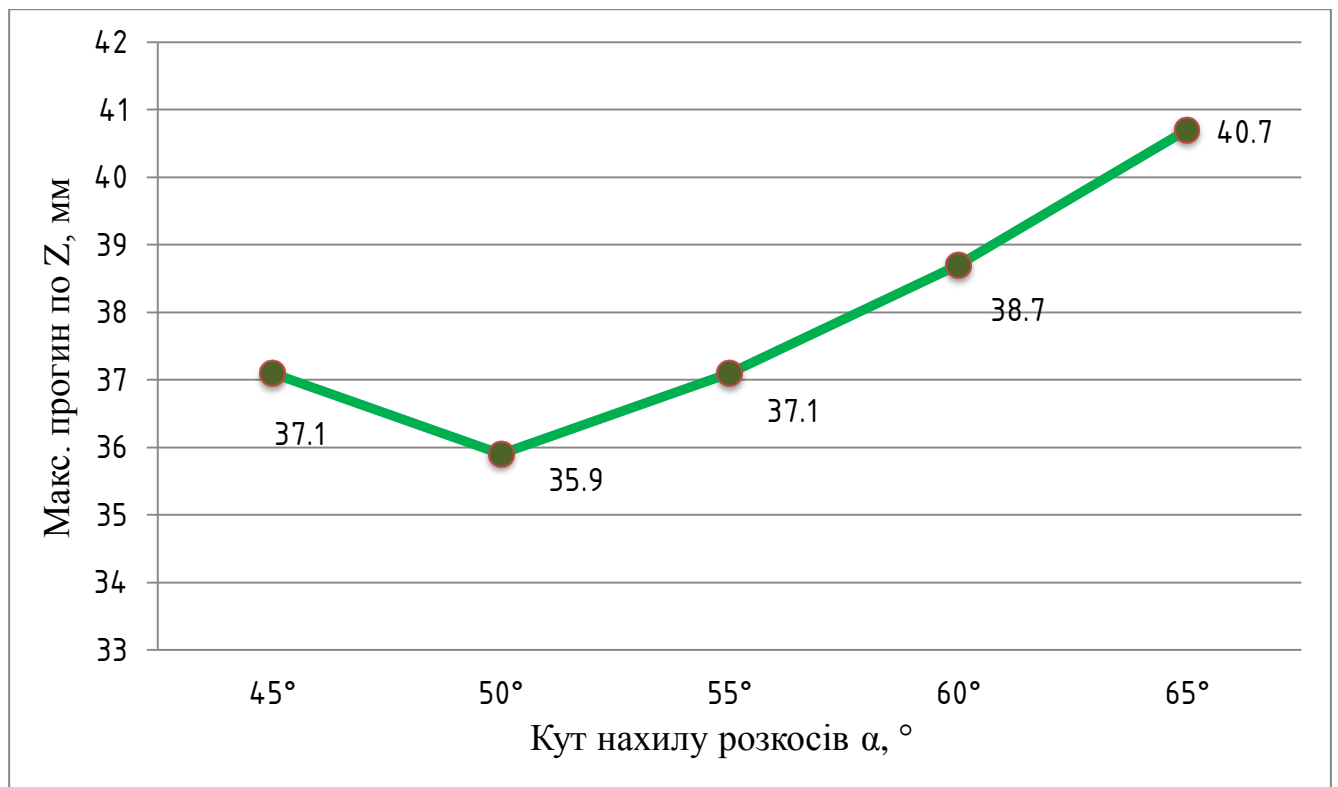


Рисунок 3.7 – Максимальний прогин відносно осі Z

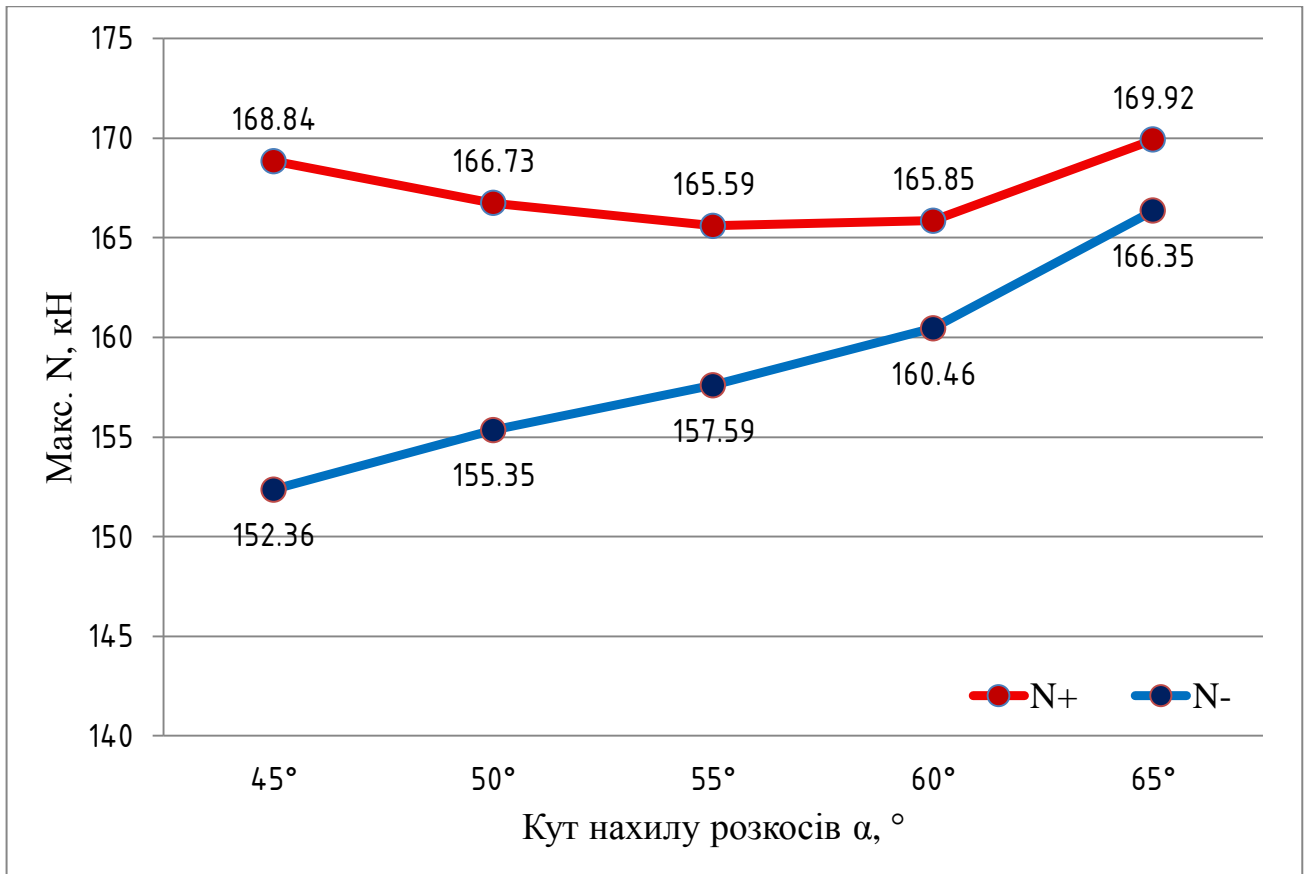


Рисунок 3.8 – Максимальні повздовжні зусилля стержнях на розтяг та стиск

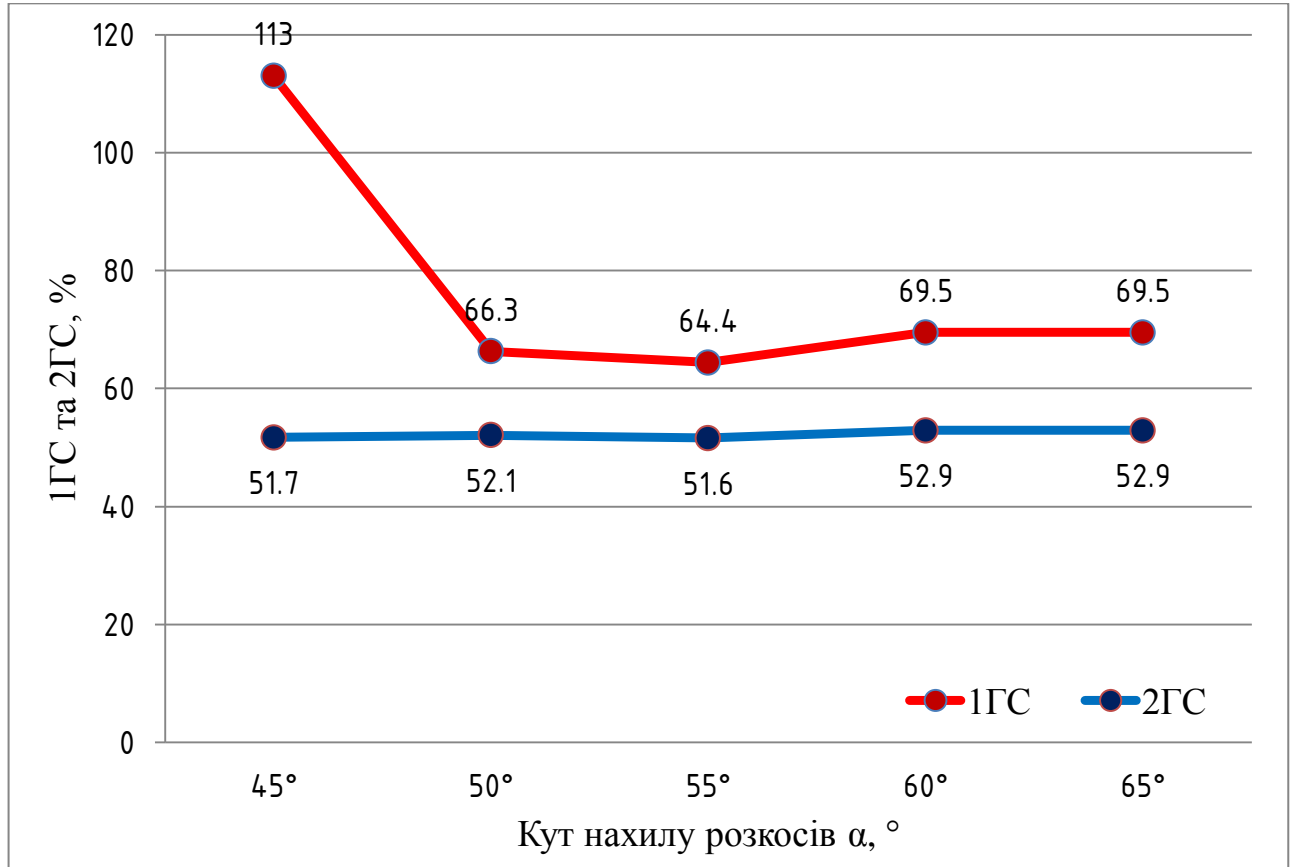


Рисунок 3.9 – Вичерпання несучої здатності за граничними станами

Дані графіки вказують на безпосередню залежність напружено-деформованого стану конструкції ферми від кута нахилу розкосів при дії власної ваги ферми та технологічного навантаження.

На рис. 3.7 видно, що максимальний прогин (40,7 мм) у варіанту 5В, відповідно мінімальний прогин (35,9 мм) у варіанту 2В. Тоді у відсотковому співвідношенні прогин ферми у варіанту 2В нижчий на 11,79% від прогину ферми у варіанті 5В.

На рис. 3.8 бачимо монотонне зростання нормальної сили стиску N- у верхніх поясах при збільшенні кута нахилу розкосів. Нормальна сила розтягу N+ у нижніх поясах практично не змінюється при збільшенні кута α , а незначні відхилення викликані дещо більшими перерізуючими силами.

Різниця між максимальними значеннями нормальних сил розтягу N+ та стиску N- для ферм серії В також зменшується зі зростанням кута нахилу розкосів та змінюється від 16,48 кН для варіанту 1В до 3,57 кН для варіанту 5В. Порівнюючи значення для ферм різних серій, можемо стверджувати, що дана різниця для всіх варіантів (1-5) пропорційна до висоти ферми.

З рис. 3.9 видно, що усі варіанти ферм із серії В, крім 1В, проходять перевірку по першому і другому граничному стану. Варіант 1В не проходить перевірку по першому граничному стану через втрату стійкості розкосів на приопорних ділянках, що пояснюється значно більшою довжиною розкосів при менших значеннях кута α . Для решти варіантів ферм характерні невисокі значення відсотків вичерпання, що говорить про значний запас міцності та деформівності конструкції та дозволяє оптимізацію їх перерізів шляхом зменшення, проте дана задача виходить за рамки. Мінімальні значення відсотків вичерпання несучої здатності спостерігаються для варіанту 3В.

3.4 Аналіз співвідношення міцності до стійкості за першим граничним станом для кожної серії

Оскільки всі варіанти ферм у всіх трьох досліджуваних серіях проходять перевірку за другим граничним станом, проте частина не проходить перевірку за

першим граничним станом, значення відсотків вичерпання несучої здатності по міцності та стійкості стержнів, які складають перевірку на ІГС, аналізували окремо.

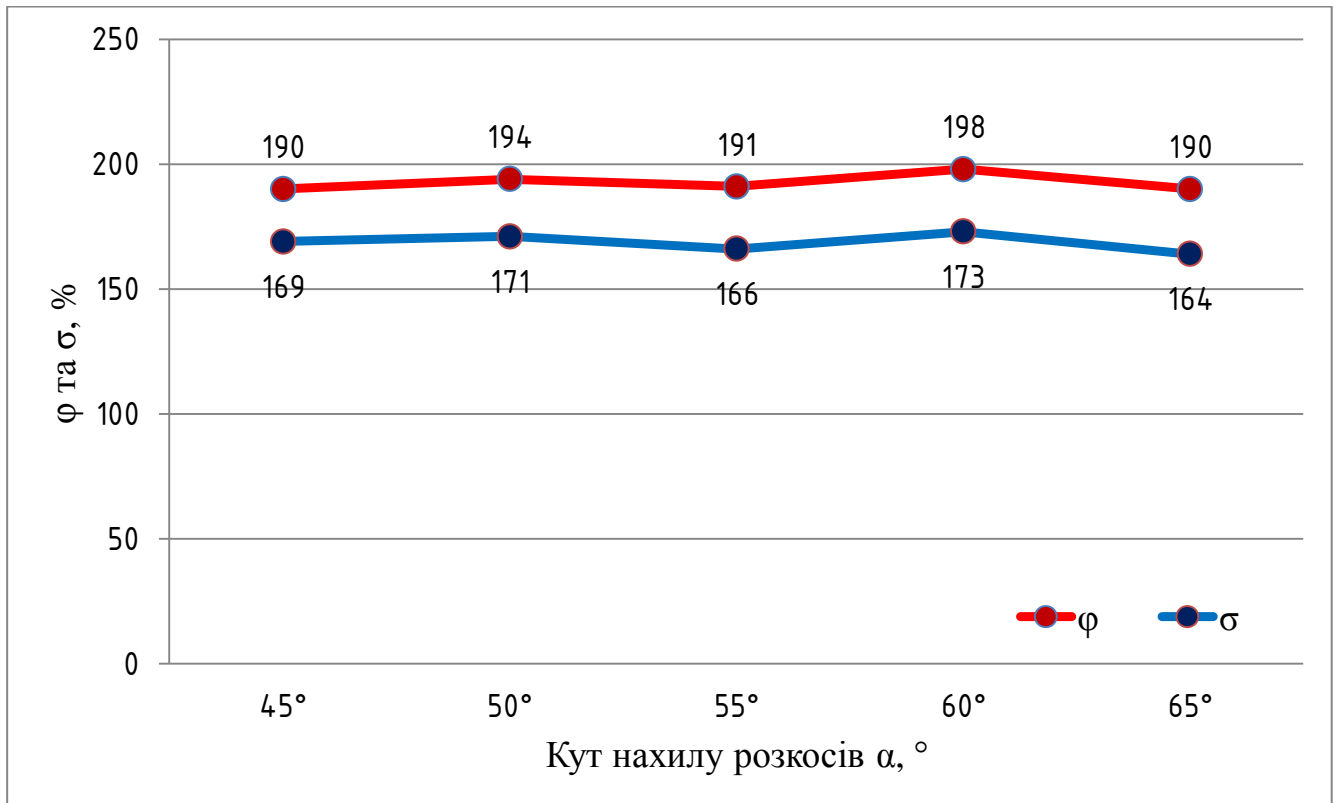


Рисунок 3.10 – Втрата міцності (σ) та стійкості (φ) для ферм серії А

На рис. 3.10 показані результати перевірки міцності (σ) та стійкості (φ) для ферм серії А ($H = 1,5$ м). Обидві перевірки показують перевищення допустимого значення для всіх варіантів конструкції ферми, при стійкість стержнів вичерпується скоріше за їх міцність. Детальний аналіз мозаїк показує, що втрата міцності спостерігається тільки у елементах поясів, втрата стійкості – у елементах верхнього поясу та крайніх приопорних розкосах. При цьому відсотки вичерпання несучої здатності за стійкістю мають значно більше значення для елементів верхнього поясу.

Середнє значення співвідношення вичерпання міцності до стійкості для даної серії 0,87.

На рис. 3.11 показані результати перевірки міцності (σ) та стійкості (φ) для ферм серії Б ($H = 2,15$ м). Як бачимо, обидва значення менші 100%, тобто як

ззначалося раніше, всі варіанти конструкцій ферм серії Б повністю проходять перевірку за першим граничним станом. Подібно до серії А для всіх варіантів вичерпання стійкості наступає швидше, ніж міцності. Детальний аналіз показує, що найбільше значення відсотки вичерпання міцності мають у елементах поясів, стійкості – у елементах верхнього поясу та крайніх приопорних розкосах. При цьому відсотки вичерпання несучої здатності за стійкістю мають більше значення для елементів верхнього поясу, але перевищення над розкосами вже не таке значне, як для серії А.

Середнє значення співвідношення вичерпання міцності до стійкості для серії Б складає 0,89.

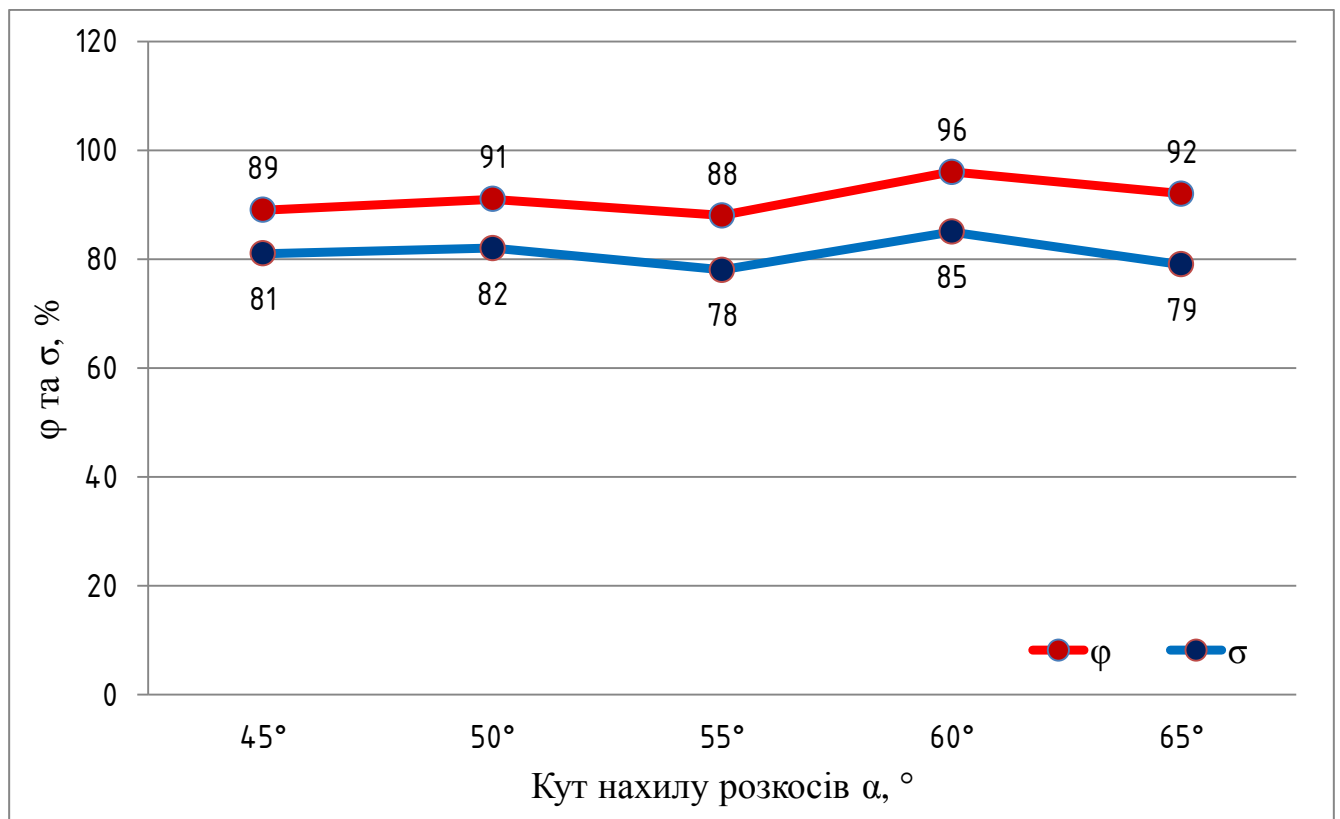


Рисунок 3.11 – Втрата міцності (σ) та стійкості (φ) для ферм серії Б

На рис. 3.12 показані результати перевірки міцності (σ) та стійкості (φ) для ферм серії В ($H = 2,8$ м). Варіант 1В не проходить перевірку по стійкості, для решти варіантів відсотки вичерпання несучої здатності значно нижчі 100%. Аналогічно як для попередніх проаналізованих серій, для всіх варіантів відсотки

вичерпання несучої здатності за стійкістю вищі, ніж за міцністю. Найбільше значення відсотки вичерпання міцності мають у елементах поясів, стійкості – у елементах верхнього поясу та крайніх приопорних розкосах. При цьому відсотки вичерпання несучої здатності за стійкістю для елементів верхнього поясу завжди вищі, ніж для елементів розкосів, що також повністю аналогічно до попередніх серій.

Середнє значення співвідношення вичерпання міцності до стійкості для даної серії 0,87.

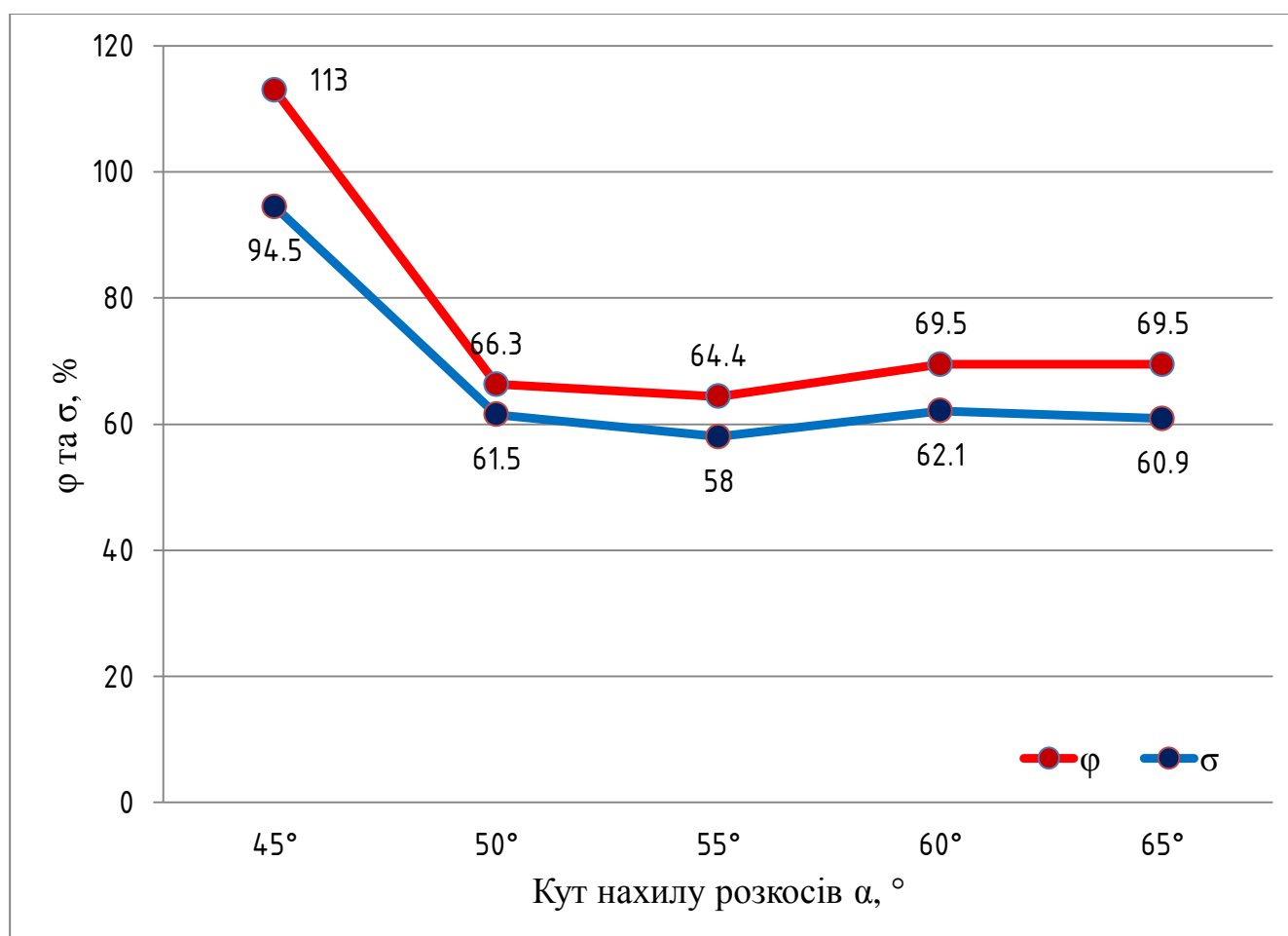


Рисунок 3.12 – Втрата міцності (σ) та стійкості (φ) для ферм серії В

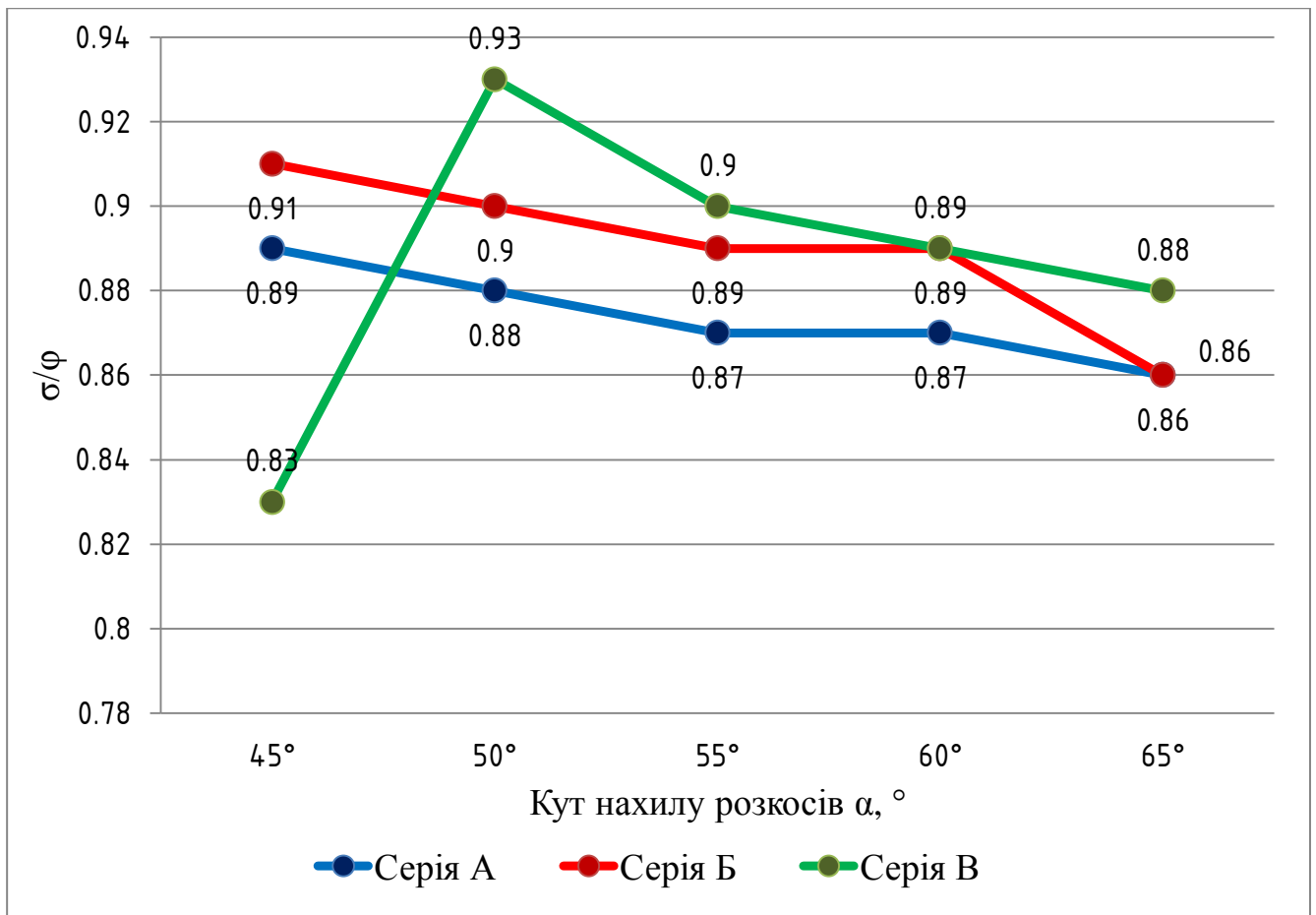


Рисунок 3.13 – Співвідношення вичерпання міцності до стійкості

Для зручності аналізу співвідношення вичерпання міцності та стійкості елементів ферм запропоновано використати відносну величину σ/φ . Результати розрахунку цього співвідношення для ферм всіх серій показані на рис. 3.13.

Для всіх серій ферм спостерігається зниження значення співвідношення σ/φ при збільшенні кута нахилу розкосів. Це вказує на збільшення ролі втрати стійкості в граничному стані конструкції та більш швидкому вичерпанню її стійкості. У випадку досліджуваних ферм швидке вичерпання стійкості зумовлено прийнятим перерізом, який характеризується високою гнучкістю.

Окремо варто відзначити аномально низьке значення відношення σ/φ для варіанту 1В, що виділяється із загального тренду. Воно може бути обґрунтовано тим, що даний варіант ферми має найбільшу довжину розкосів та панелей, що призводить до їх значно більшої гнучкості та швидкої втрати стійкості. При цьому

значення вичерпання міцності не таке велике, що в підсумку і дає аномально мале значення σ/φ .

З точки зору найбільш оптимального використання несучої здатності матеріалу рекомендовано обирати варіанти конструкції просторової ферми зі співвідношенням $\sigma/\varphi \approx 1$.

3.5 Порівняння варіантів конструкції ферм за серіями

На основі даних розділів 3.1–3.3 побудовані комбіновані графіки залежності максимального прогину по осі Z (рис. 3.14), максимальних поздовжніх зусиль в стержнях на стиск та розтяг (рис. 3.15, рис. 3.16) та вичерпання несучої здатності за граничними станами (рис. 3.17, рис. 3.18) від кута нахилу розкосів для всіх досліджуваних серій ферм.

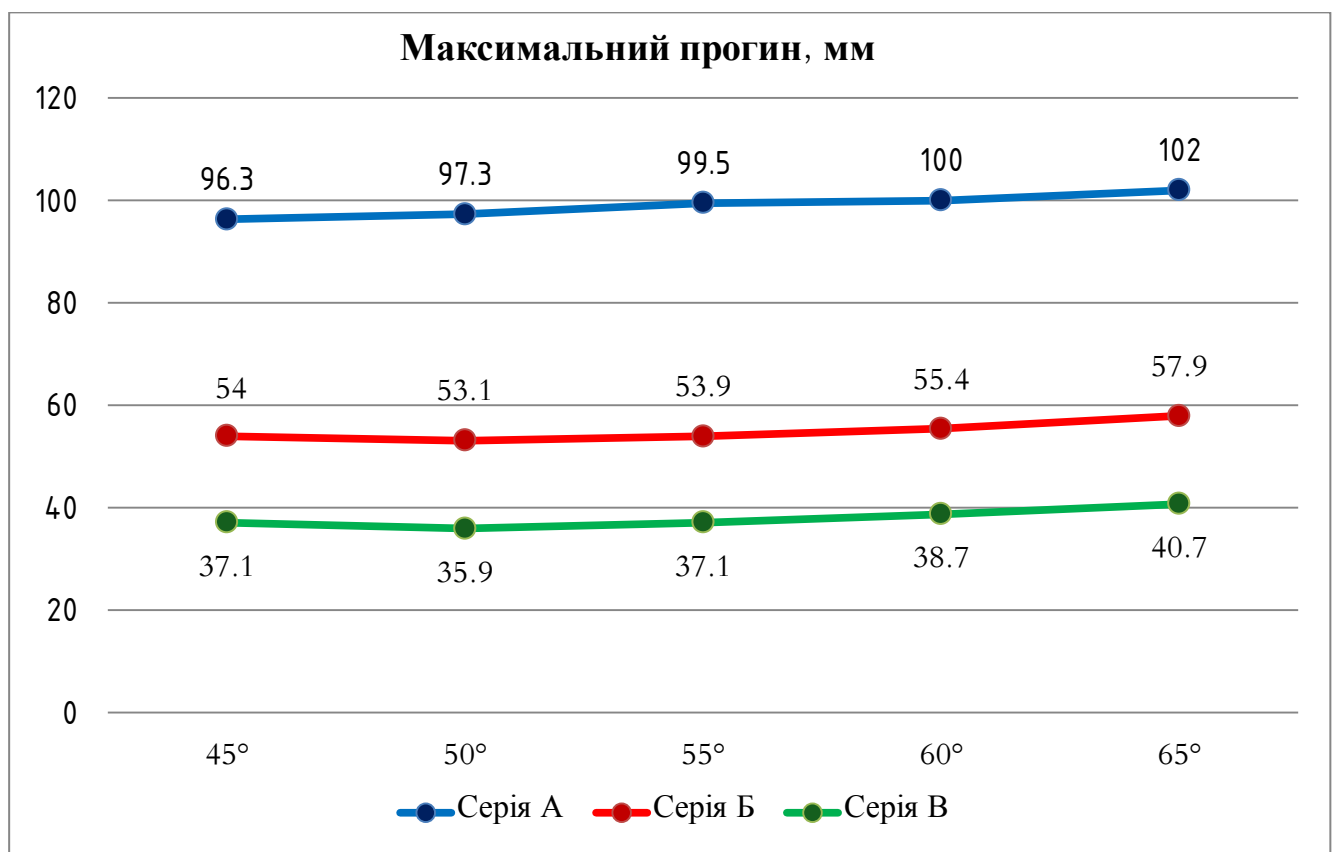


Рисунок 3.14 – Загальний графік максимального прогину по осі Z

Графік на рис. 3.14 показує, що максимальний прогин ферми значно зменшується при збільшенні висоти H . Прогин ферм серії Б в середньому нижчий від прогину ферм серії А на 44,6% при тому, що висота ферм серії Б більша на 43%. В той же час прогин ферм серії В, в середньому менший від прогину ферм серії Б на 31,2% при тому, що висота ферм серії В більша на 30%. Таким чином, можемо сказати, що залежність максимального прогину ферми від її висоти є лінійною та оберненою. Також бачимо, що для зниження максимального прогину ферм нарощування їх висоти є ефективним лише до певної міри, далі все більшу роль відіграє власна вага.

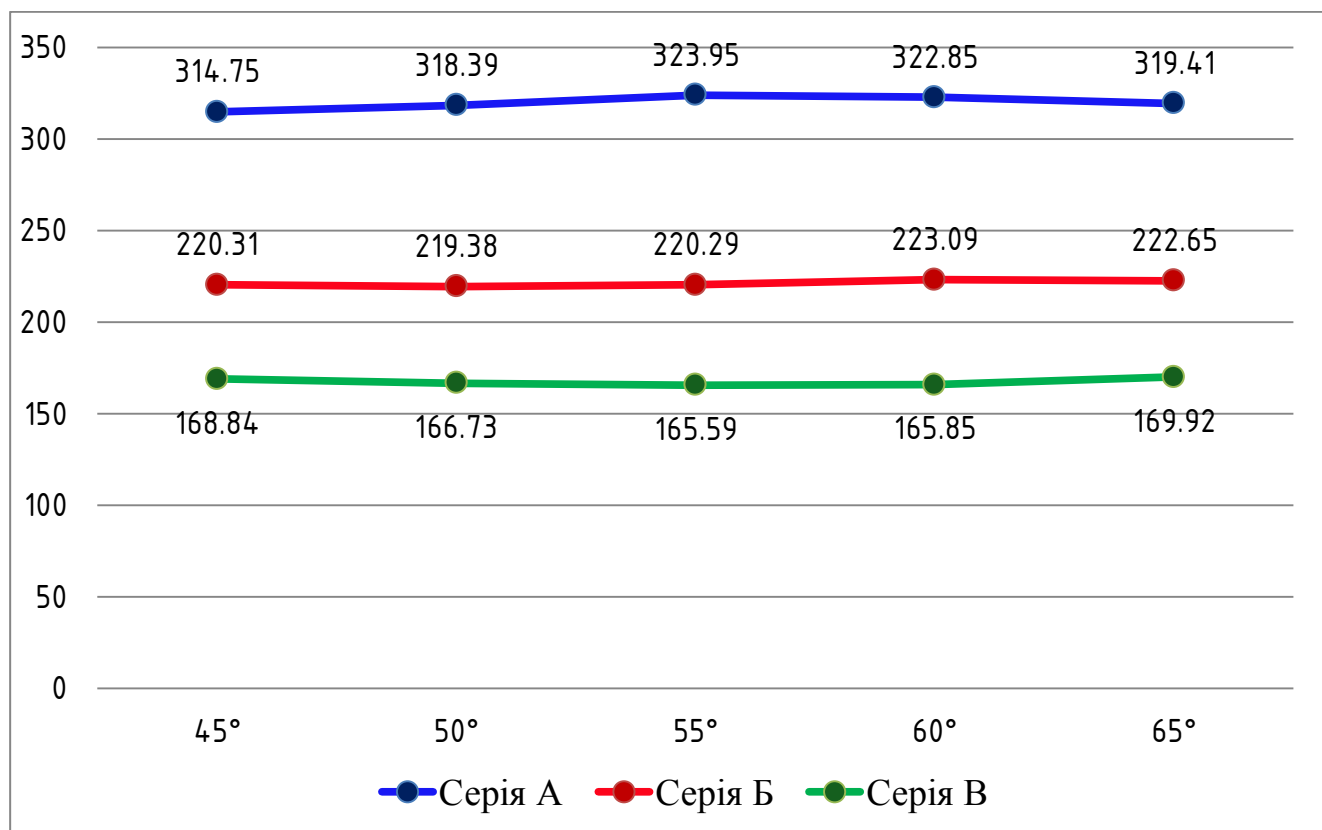


Рисунок 3.15 – Загальний графік максимальних зусиль розтягу у стержнях
 $N+$, кН

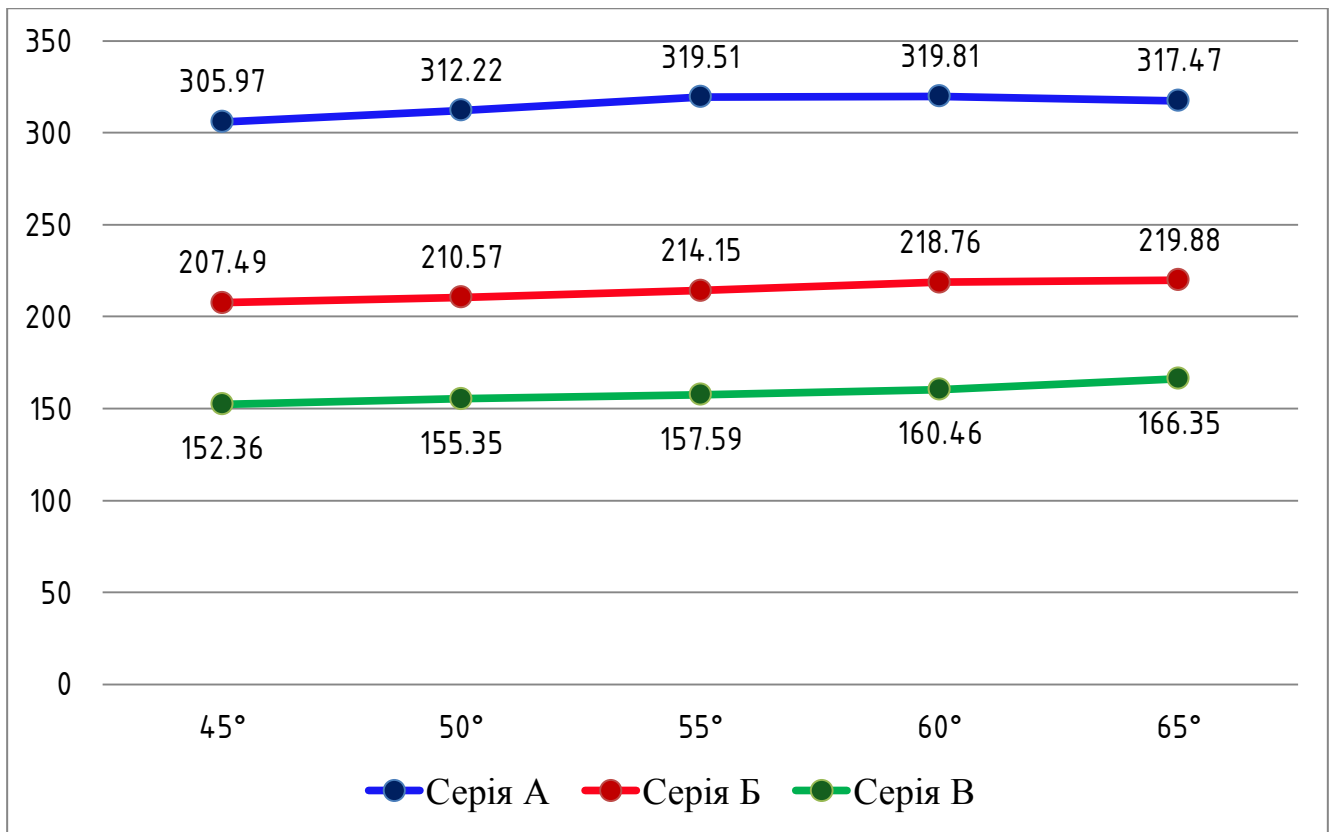


Рисунок 3.16 – Загальний графік максимальних зусиль стиску у стержнях, N-, кН

Максимальні нормальні зусилля розтягу та стиску в стержнях просторової ферми показують схожу динаміку зросту значень при збільшенні кута нахилу розкосів. При цьому зі збільшенням висоти ферми для кожного варіанту спостерігається значне зменшення нормальних сил та відповідних їм нормальних напружень. Так, при зміні висоти з 1,5 м до 2,15 м зусилля зменшуються в середньому на 30%, а при зміні з 2,15 м до 2,8 м – на 26,4%.

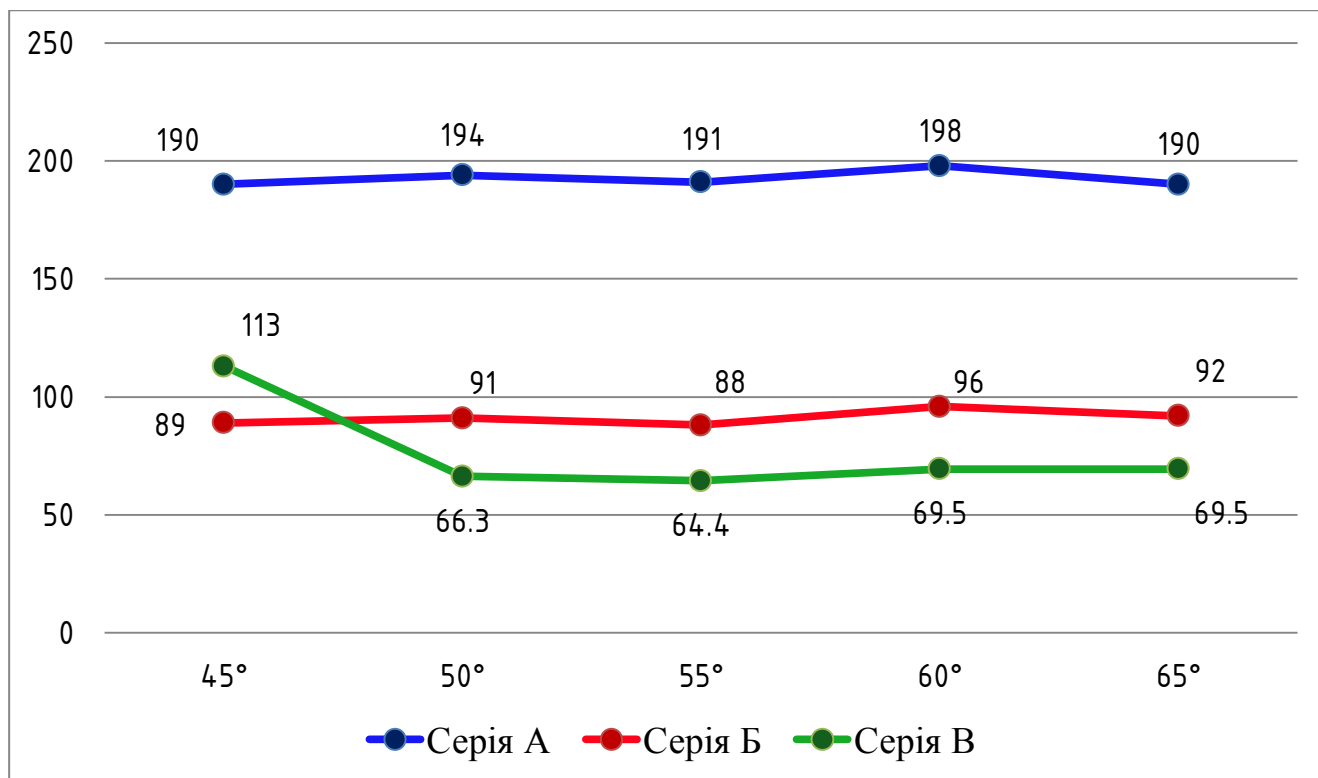


Рисунок 3.17 – Вичерпання несучої здатності за 1ГС

На рисунку 3.17 показаний відсоток вичерпання несучої здатності за першим граничним станом, в результаті ферми серії А та варіант 1В не проходять перевірки. При збільшенні висоти ферми спостерігається подібна до попередніх графіків картина – несуча здатність за першим граничним станом при зміні від 1,5 м до 2,15 м збільшується в середньому на 53,1%, при зміні від 2,15 м до 2,5 м – тільки на 26,3%.

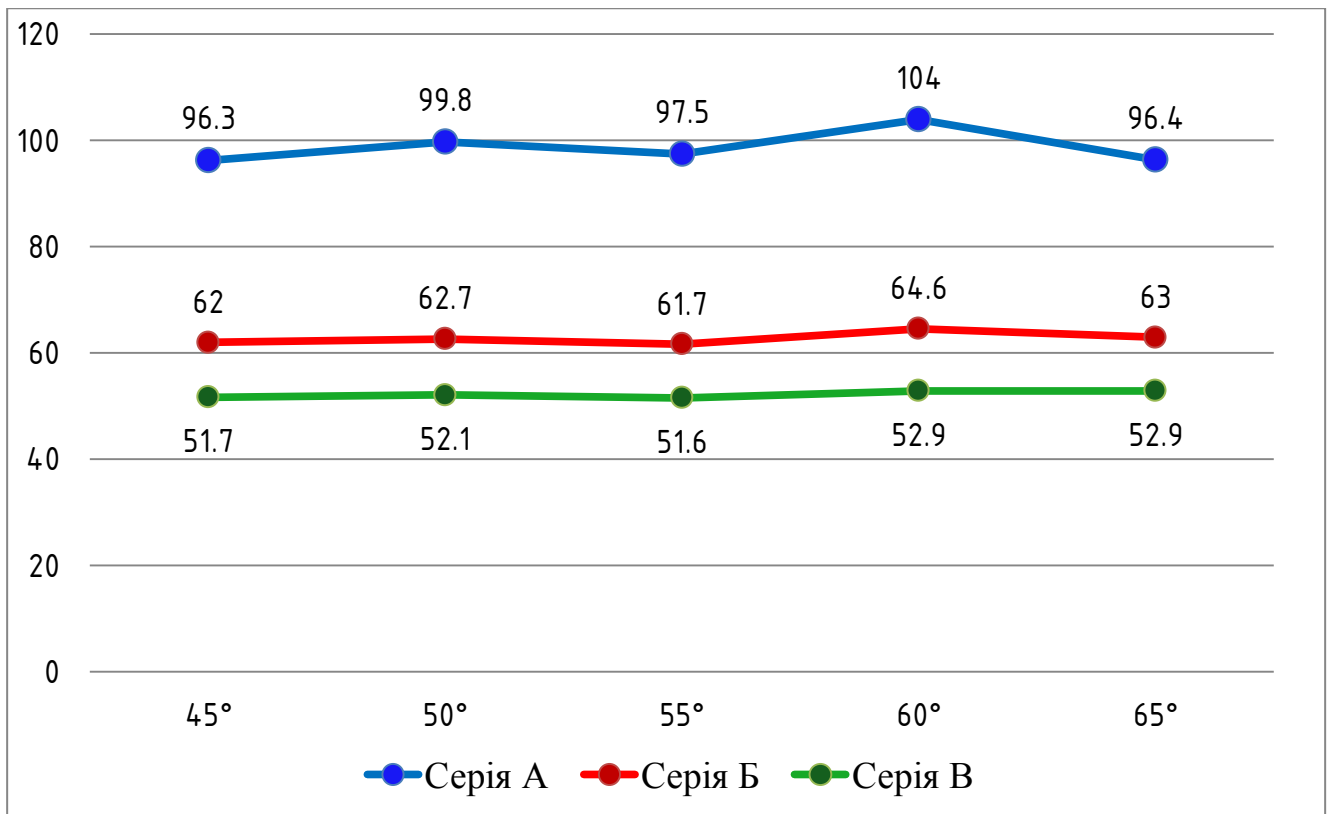


Рисунок 3.18 – Вичерпання несучої здатності за 2ГС

На рисунку 3.18 показаний відсоток вичерпання несучої здатності за другим граничним станом, в результаті варіант 1А не проходить перевірки. Для інших варіантів серії А, як зазначалося в розділі 3.1, несуча здатність за другою групою граничних станів вичерпана, значення близькі до 100%. Несуча здатність за другим граничним станом при збільшенні висоти ферми змінюється подібним чином. Так, при зміні від 1,5 м до 2,15 м вона зростає на 37,1%, а при зміні від 2,15 м до 2,5 м – на 16,9%.

На рисунку 3.19 наведено масо-габаритні показники досліджуваних ферм. Як бачимо, при збільшенні кута нахилу розкосів маса ферми зростає нелінійно, що пов'язано зі збільшенням кількості елементів розкосів. Так, маса ферм для варіанту 5 ($\alpha = 65^\circ$) більша за масу по варіанту 1 ($\alpha = 45^\circ$) на 45-50% залежно від серії. Звідси можемо зробити висновок, що використання ферм з великим кутом нахилу розкосів є неефективним з техніко-економічної точки зору.

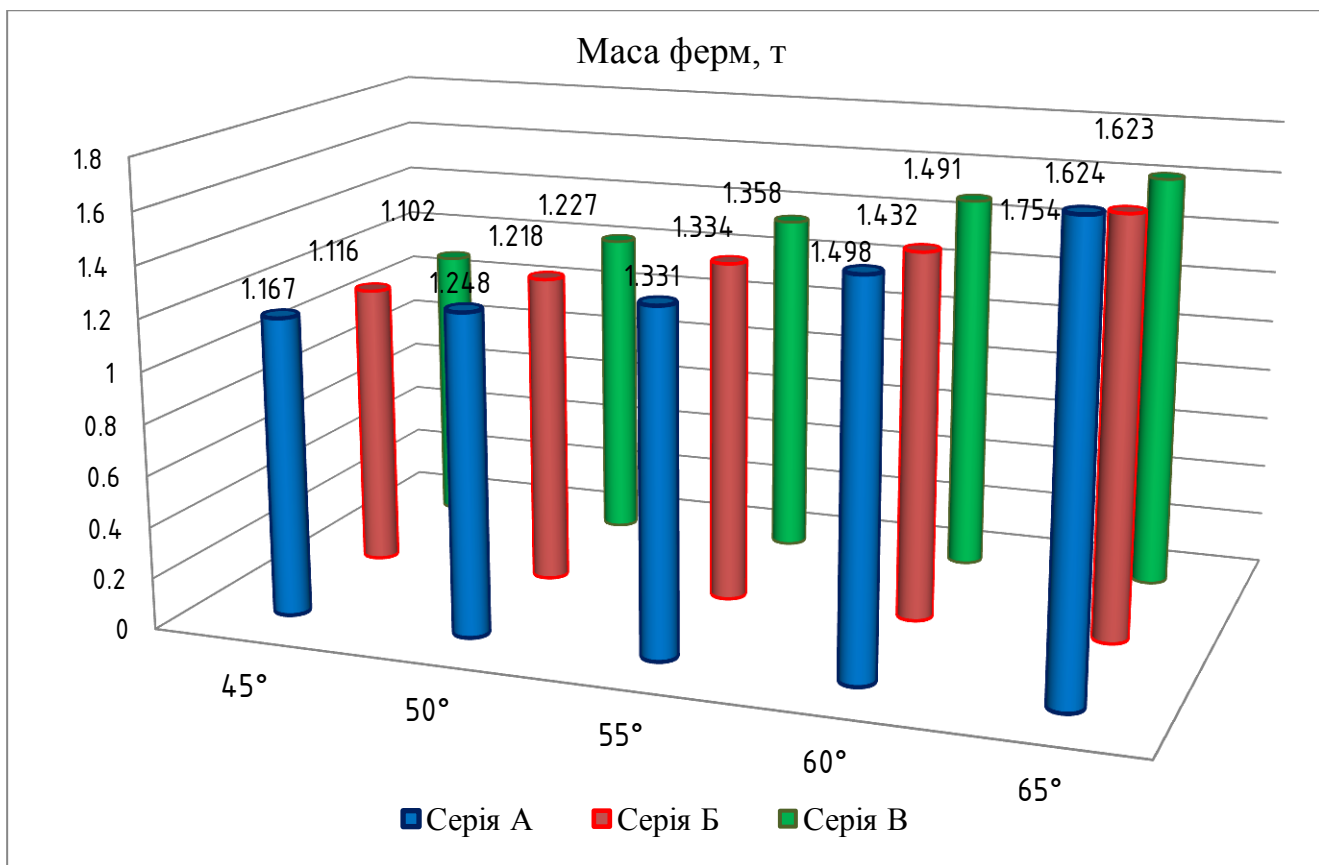


Рисунок 3.19 – Розрахункова маса ферм по серіях

З іншого боку, при збільшенні висоти ферми її маса змінюється незначно, оскільки тут одночасно діють два фактори, вплив який зрівноважується (за умови постійних перерізів) – збільшення довжини розкосів та стійок з одного боку та зменшення їх кількості з іншого.

На рисунку 3.20 показані у відсотковому співвідношенні співставлення результатів варіантів (2А, 2Б, 2В) для різних серій, що дозволяє оцінити вплив висоти ферми. За 100% прийнято результати ферми по варіанту 2А.

На основі даних результатів, зокрема ваги, також підрахована орієнтовна кошторисна вартість виготовлення ферм, варіантів (2А, 2Б, 2В) за допомогою ПК АВК-5 [11-14]. Для порівняння вартості даних ферм було складено локальні кошториси № 2-1-1 (Варіант 2А складає 44,444 тис. грн.), № 2-1-2 (Варіант 2Б складає 43,287 тис. грн.), № 2-1-3 (Варіант 2В складає 43,575 тис. грн.), на основі яких складений об'єктний кошторис (див. додаток Г). Звідси видно, що не суттєво, але найдешевшим варіантом ферми є варіант 2Б, через те, що основну вартість

складає ціна металу. А оскільки даний варіант ферми володіє найнижчою масою, то відповідно має найнижчу собівартість.

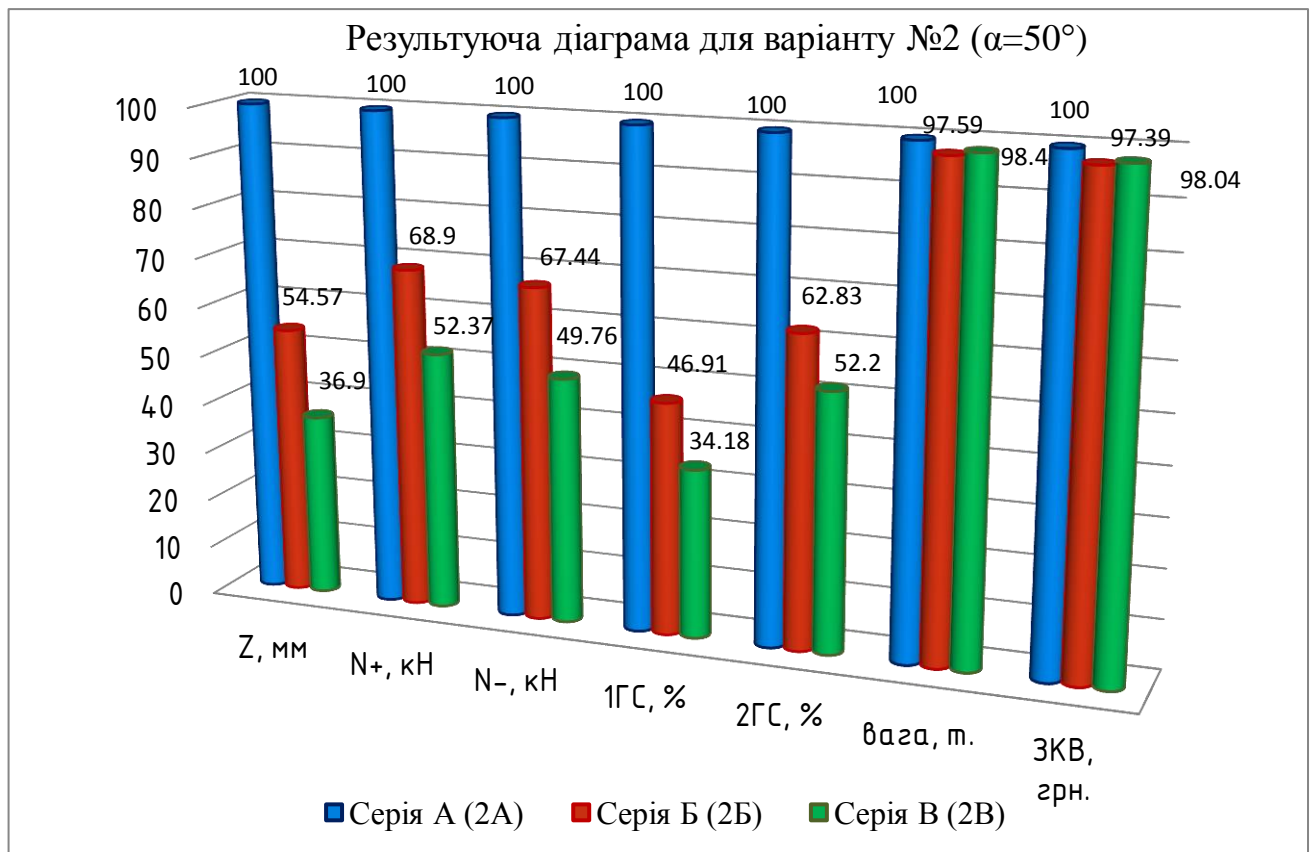


Рисунок 3.20 – Результуюча діаграма для варіантів 2А, 2Б, 2В по серіях

3.6 Висновки до розділу

З аналізу, виконаного в даному розділі, можна зробити наступні висновки:

- проаналізувавши загальний результат даних графіків, можна говорити, що максимальний прогин змінюється обернено пропорційно до зміни висоти ферми, а для максимального нормального зусилля і несучої здатності залежність нелінійна;

- для зниження максимального прогину ферм нарощування їх висоти є ефективним лише до певної міри, далі все більшу роль відіграє власна вага;

- кут нахилу розкосів незначно впливає на максимальний прогин та зусилля і напруження в елементах ферми;

- найбільше значення відсотки вичерпання міцності мають у елементах поясів, стійкості – у елементах верхнього поясу та крайніх приопорних розкосах;

- відсотки вичерпання несучої здатності за стійкістю для елементів верхнього поясу завжди вищі, ніж для елементів розкосів;

- для всіх серій ферм спостерігається зниження співвідношення між вичерпанням несучої здатності за міцністю та стійкістю (σ/φ) при збільшенні кута нахилу розкосів, що вказує на збільшення ролі втрати стійкості в граничному стані конструкції та більш швидкому її вичерпанню;

- з техніко-економічної точки зору використання ферм з великим кутом нахилу розкосів є неефективним, оскільки їх маса значно вища. Разом з цим, при збільшенні висоти ферми її маса, а відповідно і вартість, змінюється дуже незначно;

- для заданих умов (довжина ферми, тип решітки, навантаження, перерізи) оптимальним є варіант 2Б ($H = 2,15$ м; $\alpha = 50^\circ$), який задовольняє перевірки за граничними станами та характеризується мінімальним прогином.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Законодавча база України про охорону праці

Законодавчими актами, що визначають основні положення з охорони праці, є загальні закони України, а також спеціальні законодавчі акти, які приймаються або затверджуються Кабінетом Міністрів України, Державним комітетом України по нагляду за охороною праці, Міністерством енергетики України та іншими відомствами.

Загальними законами України, що визначають основні положення з охорони праці, є Конституція України, Кодекс законів про працю України та Закон України «Про охорону праці». До законодавчої бази також належать Закони України: «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань, які спричинили втрату працездатності», «Про охорону здоров'я», «Про пожежну безпеку», «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення», «Про загальнообов'язкове соціальне страхування у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності та витратами, зумовленими народженням та похованням».

У Законі України «Про охорону праці» передбачені основні методи запобігання шкоди людині й суспільству, відшкодування завданого збитку, закладені правові норми управління охороною праці, котрі забезпечують організаційно-господарську діяльність шляхом визначення повноважень, прав і відповідальності господарських органів, а також наглядову діяльність надану органам місцевого самоврядування і виконавчим органам влади [10].

Спеціальними законодавчими актами є міжгалузеві та галузеві акти про охорону праці. Це Державні стандарти Системи стандартів безпеки праці, Будівельні норми та правила, Санітарні норми, Правила побудови

електроустановок, та інші. Згідно ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека у будівництві» [10] норми поширюються на загальнобудівельні і спеціальні будівельні роботи під час нового будівництва, розширення, реконструкції, технічного переоснащення, капітального ремонту, реставрації будівель та споруд [11].

4.2 Заходи з охорони праці при проведенні дослідження

Дане дослідження проводилось за допомогою комп'ютерного моделювання. При використанні ЕОМ потрібно дотримуватись наступних рекомендації щодо організації робочого місця та захисту від шкідливого впливу комп'ютера на здоров'я людини:

- положення тіла повинно відповідати напрямку погляду;
- нижній край екрана повинен бути на 20 см нижче рівня очей;
- рівень верхньої кромки екрана повинен бути на висоті чола;
- екран комп'ютера на відстані 75-120 см від очей;
- спинка стільця повинна підтримувати спину користувача;
- кут між стегнами і хребтом має становити 90°;
- крісло та клавіатуру розміщують таким чином, щоб не було потреби далеко витягуватись;
- висота клавіатури повинна бути встановлена таким чином, щоб кисті рук користувача розміщувались прямо;
- відстань між столами з комп'ютерами повинна бути не менша 1,5 м, між моніторами – 2,2 м;
- якщо під час роботи доводиться дивитись на документи, то підставку з оригіналом документа слід встановлювати в одній площині з екраном і на одній з ним висоті;
- треба уникати яскравого освітлення, не втомлювати очі різкою зміною потужності світлових потоків;
- екран комп'ютера потрібно розміщувати під прямим кутом до вікон;

- у робочому приміщенні необхідна вологість (оптимальна вологість — 60% при температурі 21°C);

- для запобігання статистичного навантаження при користуванні ЕОМ потрібно робити перерви в роботі 10 хв через кожні дві години.

Відповідно до [12] є неприпустимим розташування приміщень, призначених для роботи з відео дисплейними терміналами (ВДТ) у підвалах та цокольних поверхах. Також забороняється розташування вибухонебезпечних приміщень категорії А і Б згідно [13] та виробництв з мокрими технологічними процесами поряд з приміщенням, де розташовуються ЕОМ, а також над такими приміщеннями, або під ними. Окрім того, виробничі приміщення для роботи з ВДТ не повинні межувати з приміщеннями, у яких рівень шуму і вібрації перевищує допустимі значення [14].

4.3 Класифікація надзвичайних ситуацій

«За сутністю та причинами виникнення надзвичайні ситуації поділяють на природні, соціальні та техногенні. Природні надзвичайні ситуації пов'язані з природними процесами космічного, літосферного, гідросферного, атмосферного, біосферного характеру або кількох процесів одночасно і відбуваються незалежно від участі людини, тому зменшення впливу будь-якого фактору при проектуванні споруд різного призначення керуються умовами [15]. Соціальні надзвичайні ситуації відбуваються в суспільстві: воєнний стан, злочинність, революції, міжнаціональні конфлікти, поширення людиноненависницьких ідеологій та ін. Техногенні надзвичайні ситуації пов'язані з матеріальною сферою, що створена людиною» [16].

Найбільш поширеними техногенними катастрофами та аваріями є вибухи, пожежі, затоплення, хімічне та радіаційне забруднення, біологічне зараження та інше. А також на території України можливе виникнення небезпечних природних явищ і процесів геологічного походження. До них відносяться: великі повені,

катастрофічні затоплення, землетруси та зсувні процеси, лісові та польові пожежі, великі снігопади та ожеледі, урагани, смерчі та шквальні вітри тощо [17].

Аварії металоконструкцій є найбільш руйнівними незалежно від сфери застосування. Тому вже на стадії їх проектування слід забезпечити безпеку перебування в спорудах людей і збереження майна за рахунок зниження ймовірності прогресуючого (лавиноподібного, ланцюгового та ін) обвалення при локальних руйнуваннях окремих конструктивних елементів. Ці локальні руйнування не повинні призводити до руйнування сусідніх несучих елементів. Стійкість споруд проти прогресуючого обвалення повинна забезпечуватися конструктивними та профілактичними заходами і перевірятися розрахунком.

4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Заходи з підвищення стійкості планують з урахуванням місцевих умов, важливості об'єкта, його географічного положення, економічної доцільності проведення заходів.

На стійкість роботи і на запобігання виникнення надзвичайних ситуацій впливають такі фактори:

- захищеність службовців і робітників від вражаючих факторів НС;
- здатність інженерно-технічного комплексу об'єкта (будівель, споруд, обладнання та комунально-енергетичних систем) протистояти руйнуючій дії уражуючих факторів аварій, катастроф, природних явищ та сучасної зброї;
- готовність об'єкта до проведення аварійно-рятувальних та відбудовних робіт;
- надійність постачання об'єкта водою, електроенергією, паливом, комплектуючими та сировиною;
- оперативність управління виробництвом та здійсненням заходів ЦО в надзвичайних ситуаціях.

Для запобігання значних наслідків при виникненні вище розглянутих НС передбачено наступні заходи:

- використання системи передавання тривожних сповіщень згідно з вимогами [18].
- влаштування системи блискавкозахисту відповідно до [19], дана система складається з блискавкоприймача, струмовідводів і заземлювачів. В якості струмовідводів і заземлювачів служить металевий каркас у спорудах з використанням металоконструкцій;
- використання автоматичної системи пожежогасіння;
- для стійкості та жорсткості встановлюють додаткові зв'язки між окремими елементами споруди, закріплюють відтяжками високі малостійкі споруди;
- також будівельні конструкції обробляють антикорозійними, гідрофобними засобами.

Виникнення надзвичайних ситуацій повністю виключити неможливо, але мінімізація їх наслідків необхідна. Для попередження надзвичайних ситуацій будівель і споруд та їх експлуатованих металевих конструкцій, згідно [20], важливе завдання стоїть перед службами експлуатації та нагляду за несучими конструкціями, посилення конструкцій і супутнє йому регулювання напружень в елементах, виявлення неврахованих запасів міцності і стійкості, вдосконалення методик розрахунку будівельних конструкцій.

4.5 Висновки до розділу

З розділу охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях можна зробити наступні висновки:

- трудова діяльність людини регулюється основним нормативними документами, Законом України «Про охорону праці»;

- запобігання впливу шкідливого середовища на здоров'я людини проводиться шляхом забезпечення засобами індивідуального захисту та дотримань правил техніки безпеки;

- для запобігання непередбаченого впливу на будівельні конструкції пропонуються такі основні методи: загальне зміцнення всієї споруди, своєчасна заміна або місцеве посилення окремих елементів і конструкцій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі розв'язано задачу встановлення залежностей впливу конструктивних параметрів просторової ферми, зокрема висоти та кута нахилу розкосів, на її тримку здатність та напружено-деформівний стан при заданому навантаженні.

Відповідно до мети та завдань, які були поставлені в даній роботі, можна зробити наступні висновки:

1. Розглянувши галузі застосування та відповідну роль металоконструкцій в них, з'ясовано, що широкого використання набули просторові чотиригранні ферми. В той же час вони потребують постійного вдосконалення основних конструктивних параметрів та оцінки їх впливу на результуючий напружено-деформівний стан і тримку здатність.

2. Розроблено скінченно-елементні моделі конструктивних схем просторових чотиригранних розкісних ферм з трьома варіантами висоти (1,5; 2,15; 2,8 м) та п'ятьма варіантами кута нахилу розкосів (45° , 50° , 55° , 60° , 65°).

3. Встановлено, що максимальний прогин ферм змінюється лінійно та обернено пропорційно до зміни їх висоти, а для максимального нормального зусилля і несучої здатності залежність нелінійна.

4. Показано, що найбільше значення відсотки вичерпання міцності мають у елементах поясів, стійкості – у елементах верхнього поясу та крайніх приопорних розкосах. При цьому відсотки вичерпання несучої здатності за стійкістю для елементів верхнього поясу завжди вищі, ніж для елементів розкосів.

5. Для всіх серій ферм спостерігається зниження співвідношення між вичерпанням несучої здатності за міцністю та стійкістю (σ/φ) при збільшенні кута нахилу розкосів, що вказує на збільшення ролі втрати стійкості в граничному стані конструкції та більш швидкому її вичерпанню.

6. Проаналізувавши отримані в ході дослідження результати, при заданих умовах (довжина ферми, тип решітки, навантаження, перерізи) встановлено, що оптимальний кут нахилу розкосів для трьох серій ферм становитиме $\alpha = 50^\circ$. В

ході подальшого порівняння з техніко-економічної точки зору показано, що варіант ферми висотою $H = 2,15$ м з кутом нахилу розкосів $\alpha = 50^\circ$ є найбільш економічно вигідним за рахунок найнижчої маси і, відповідно, найнижчої собівартості у виготовленні, забезпечуючи необхідну тримку здатність.

Наукова новизна отриманих результатів:

- 1) одержала подальший розвиток методика проведення чисельного моделювання багатоваріантних конструктивних схем просторових металевих ферм;
- 2) уточнено залежності впливу висоти ферми та кута нахилу розкосів на характеристики її напружено-деформівного стану та тримку здатність.

Отримані в результаті дослідження залежності впливу висоти та кута нахилу розкосів на НДС чотиригранної розкісної просторової ферми можуть бути використані при проектуванні конструкцій даного типу, що використовуються як підтримуючі конструкції трубопровідного транспорту, а також можливе їх застосування для великопролітних покриттів промислових та громадських будівель чи споруд.

З практичної точки зору можна зробити наступні рекомендації:

- для зниження максимального прогину ферм нарощування їх висоти є ефективним лише до певної міри, далі все більшу роль відіграє власна вага;
- кут нахилу розкосів незначно впливає на максимальний прогин та зусилля і напруження в елементах ферми, проте його підвищення призводить до зростання втрати стійкості елементів верхнього поясу;
- з техніко-економічної точки зору використання ферм з великим кутом нахилу розкосів є неефективним, оскільки їх маса значно вища. Разом з цим, при збільшенні висоти ферми її маса, а відповідно і вартість, зростає менше (за умови використання сталих перерізів елементів).

Результати дослідження даної просторової ферми можуть бути використані як проектними організаціями при виготовленні проектно-кошторисної документації, так і проектно-конструкторськими відділами на заводах з виготовлення металоконструкцій.

Також слід відзначити, що дослідження, виконані в даній роботі, не охоплюють всіх можливих комбінацій конструктивних параметрів в силу їх великої кількості, а розглядають тільки вплив висоти ферми та кута нахилу розкосів. Тому в якості напрямків подальших досліджень, що базуються на запропонованій методиці, можемо вказати:

- оцінювання впливу типу решітки ферми та її обрису на тримку здатність просторових ферм;
- аналогічні дослідження тригранних просторових ферм з метою підтвердження та узагальнення результатів;
- розширення досліджень на конструкції ферм з іншим типом перерізів елементів;
- комплексний підбір та оптимізація конструктивних параметрів просторових металевих ферм, в тому числі з використанням одержаних в роботі результатів.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Пермяков В.О., Белов І.Д. Металеві конструкції. Ферми: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2006. – 170 с.
2. Металлические конструкции. В 3 т. Т.2. Стальные конструкции зданий и сооружений. (Справочник проектировщика) / Под общ. ред. заслуж. Строителя РФ, лауреата госуд. премии СССР В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова) – М.: АСВ, 1998. – 512 с.
3. В. Я. Жилияков Проектування металевих конструкцій. – Х.: ХНУМГ, 2013. – 66 с.
4. Пічугін С.Ф., Чичулін В.П., Чичуліна К.В. Просторові конструкції із замкнених профілів. Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – 2017. – С. 138-143.
- 5 Пат. 98331 Україна, МПК (2006) Е 04 С 3/02. Комбінована металева конструкція ферми /Пічугін С. Ф., Чичулін В. П., Чичуліна К. В.; власник: Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. – № u201411960; заявл. 05.11.2014; опубл. 27.04.2015. Patent 98331 Ukraine, IPC (2006) E 04 C 3/02. Truss combined metal structure / Pichugin S. F., Chichulin V. P., Chichulina K. V.; Holder: Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. – № u201411960; submit. 05.11.2014; publ. 27.04.2015.
6. Легостаєв А. Д. Метод скінченних елементів: Конспект лекцій. – К.: КНУБА, 2004. – 112 с.
7. Програмне забезпечення інженерних розрахунків : конспект лекцій для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання / Укладач: Сорочак А.П. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 128 с.
8. Трущев А. Г. Пространственные металлические конструкции: Учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1983. – 215 с.
9. ДБН В.2.6-163:2010: Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. – К: Мінрегіонбуд України, 2011. – 202 с.

10. Металлические конструкции: Общий курс: Учебник для вузов / Под общ. ред. Е.И. Беленя. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.
11. ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 Правила визначення вартості будівництва – К: Мінрегіонбуд України, 2013. – 89 с.
12. ДСТУ-Н Б Д.1.1-3:2013 Визначення загальновиробничих і адміністративних витрат та прибутку. – К: Мінрегіонбуд України, 2013. – 36 с.
13. ДСТУ Б Д.2.2-2012 Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. – К: Мінрегіонбуд України, 2013. – 196 с.
14. ДСТУ Б Д.2.3-2012 Ресурсні елементні кошторисні норми на монтаж устаткування. – К: Мінрегіонбуд України, 2013. – 240 с.
15. Закон України "Про охорону праці" від 14.10.92 р. № 2694-ХІІ.
16. ДБН А.3.2-2-2009 Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. – К: Мінрегіонбуд України, 2012. – 7 с.
17. Основні положення законодавства про охорону праці // Навчальні матеріали онлайн [Ел. ресурс] – Режим доступу:
https://pidruchniki.com/13761025/bzhd/osnovni_polozhennya_zakonodavstva_pro_ohoronu_pratsi
18. НПАОП 0.00-1.28-10 Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. – К: Мінюст України, 2010. – 6 с.
19. ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. – К: Мінрегіонбуд України, 2015. – 127 с.
20. НПАОП 40.1–1.21–98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К: Держнаглядохоронпраці України, 1998. – 117 с.
21. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – К: Мінрегіонбуд України, 2011. – 130 с.
22. Охорона праці в галузі та цивільний захист. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 17 с.

23. Цивільна оборона: навч. посіб. Кулаков М.А., Ляпун В.О., та ін. – Харків: НТУ ХПІ, 2005. – 363 с.
24. ДБН Б 2.5-56-2014 Системи пожежного захисту. – К: Мінрегіонбуд України, 2015. – 134 с.
25. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. – К: Мінрегіонбуд України, 2008. – 54 с.
26. Лашенко, М. Н. Підвищення надійності металевих конструкцій будівель і споруд при реконструкції. – М.: Стройиздат, Ленінгр. отд., 1987. – 136 с.

ДОДАТОК А

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ФЕРМ

СЕРІЇ А (H = 1,5 м)

Варіант 1А ($\alpha=45^\circ$)

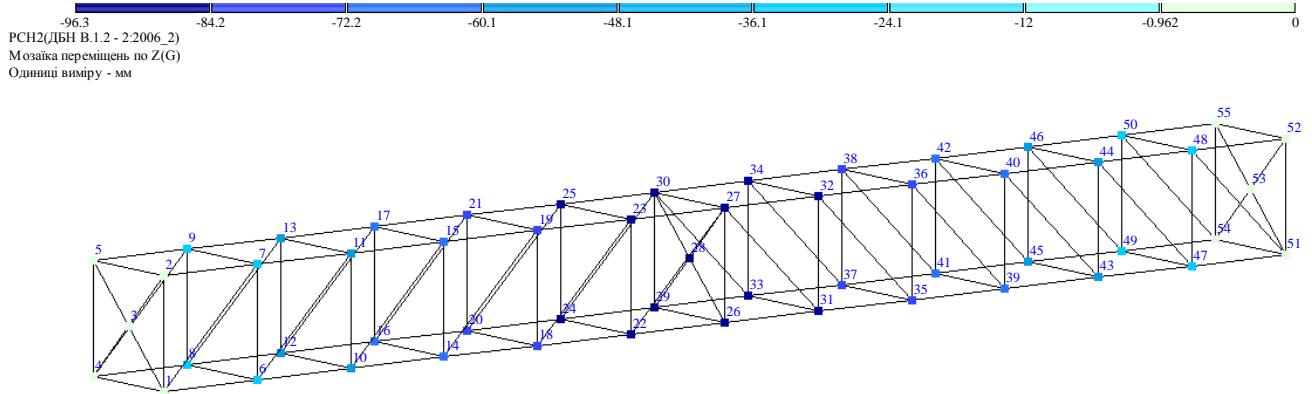


Рисунок А.1 – Мозаїка переміщень по Z(G)

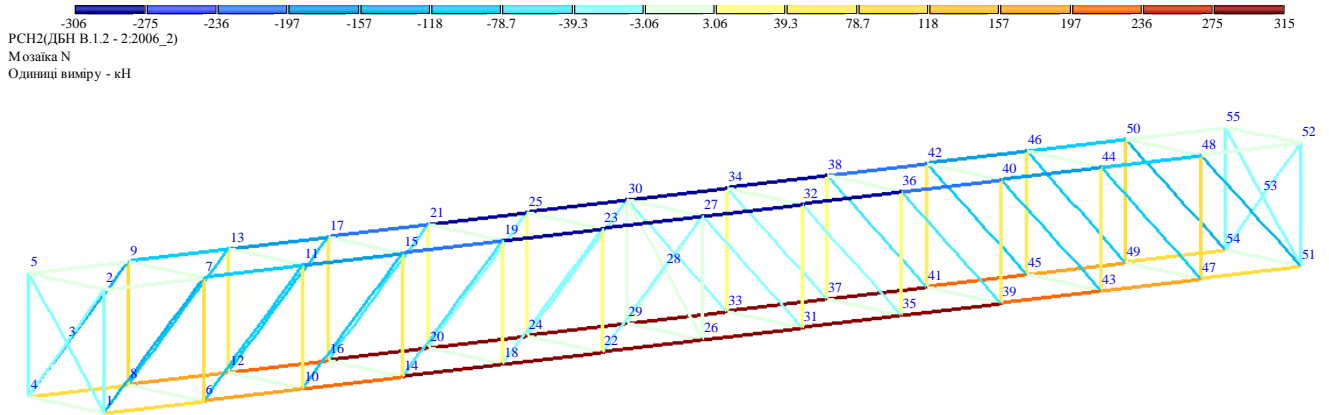


Рисунок А.2 – Мозаїка нормальних сил N

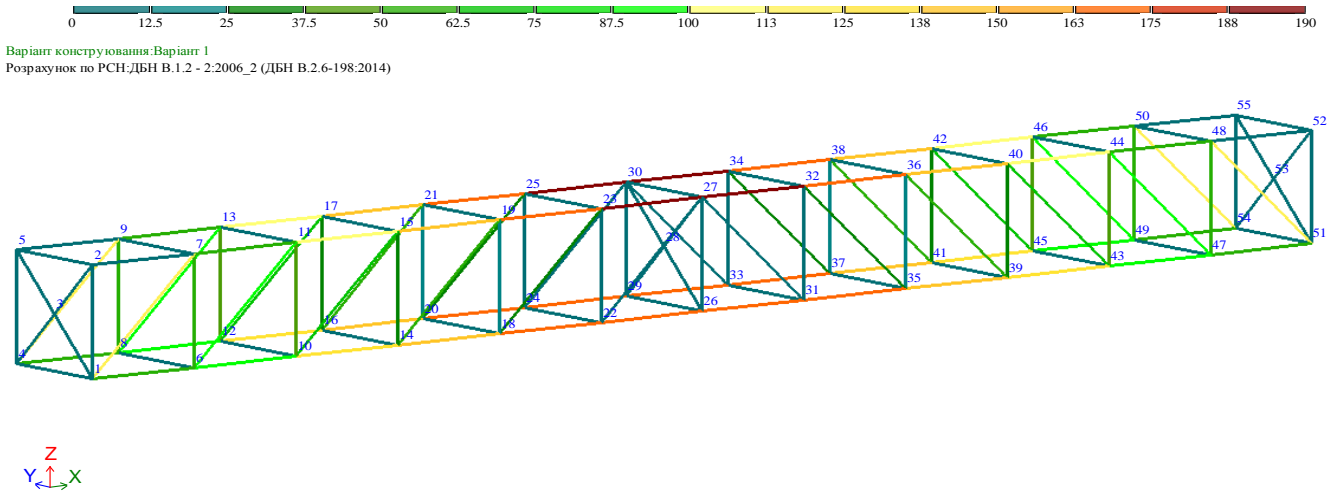


Рисунок А.3 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом

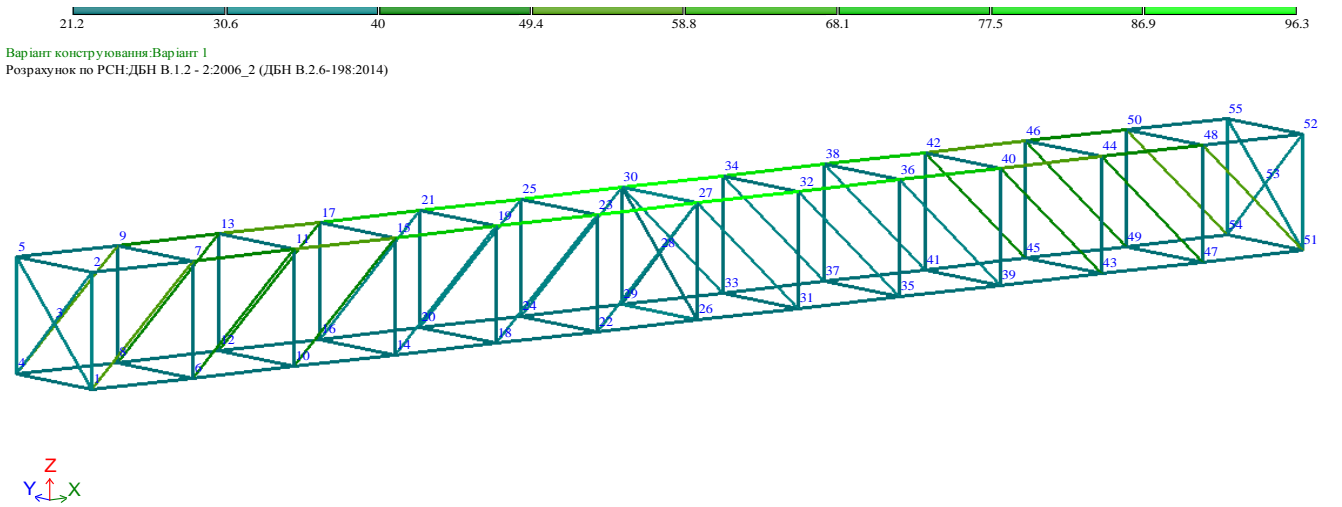


Рисунок А.4 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом

Варіант 2А ($\alpha=50^\circ$)

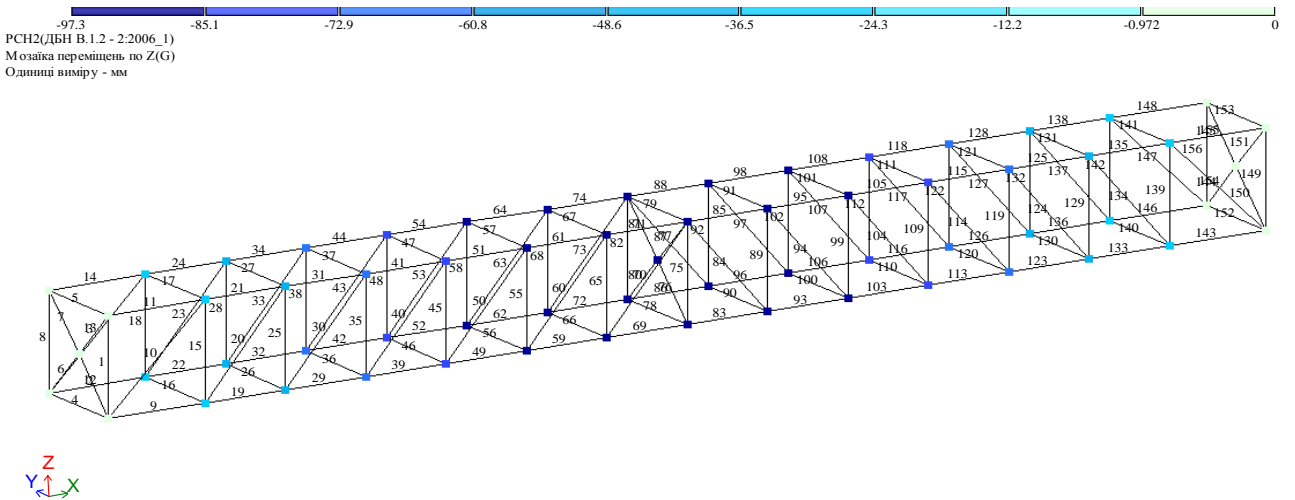


Рисунок А.5 – Мозаїка переміщень по Z(G)

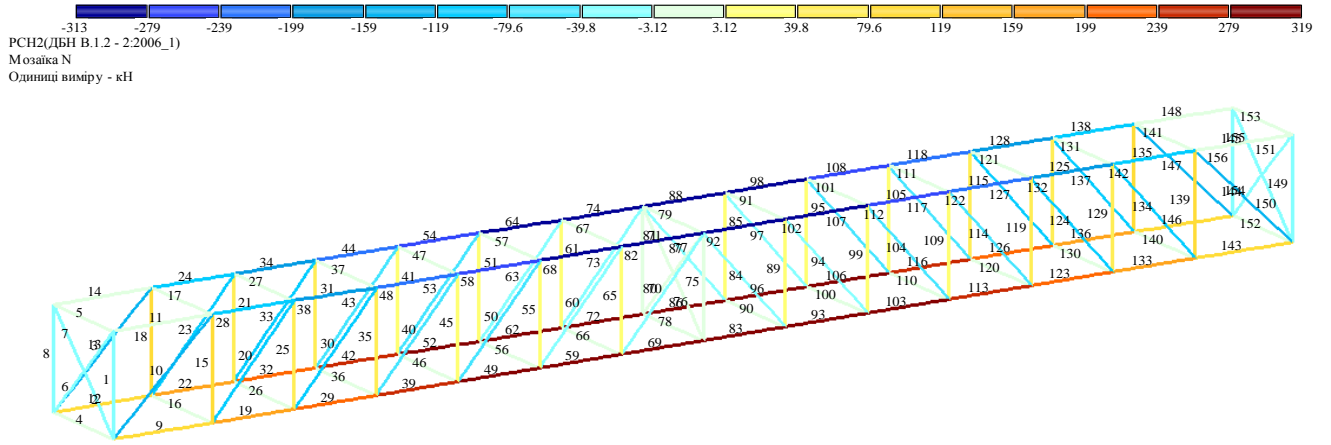


Рисунок А.6 – Мозаїка нормальних сил N



Варіант конструювання: Варіант 1
Розрахунок по РСН:ДБН В.1.2 - 2:2006_1 (ДБН В.2.6-198:2014)

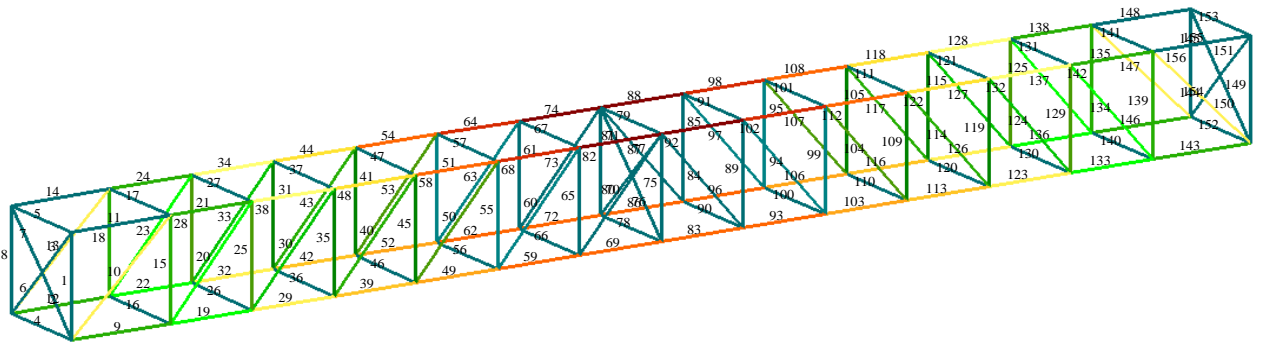
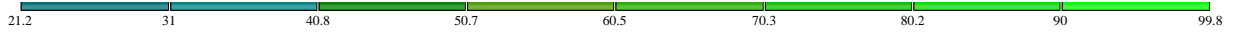


Рисунок А.7 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом



Варіант конструювання: Варіант 1
Розрахунок по РСН:ДБН В.1.2 - 2:2006_1 (ДБН В.2.6-198:2014)

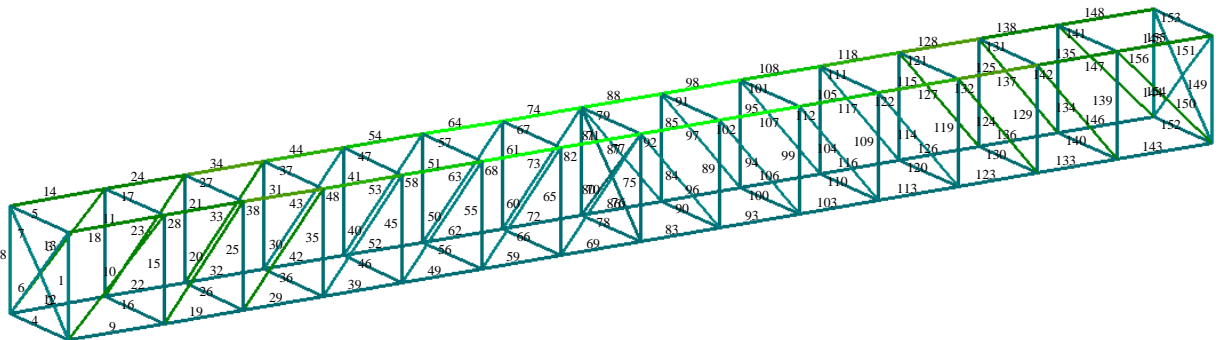


Рисунок А.8 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом

Варіант 3А ($\alpha=55^\circ$)

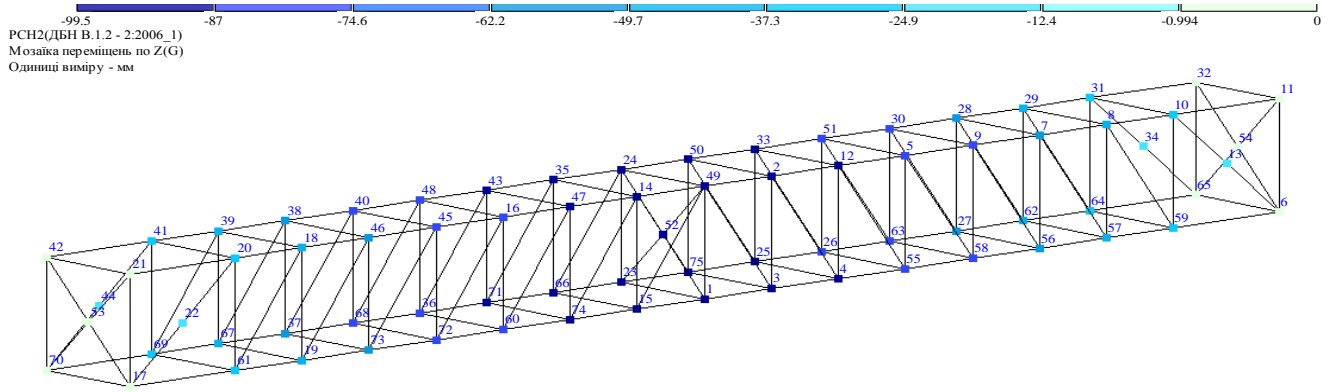


Рисунок А.9 – Мозаїка переміщень по Z(G)

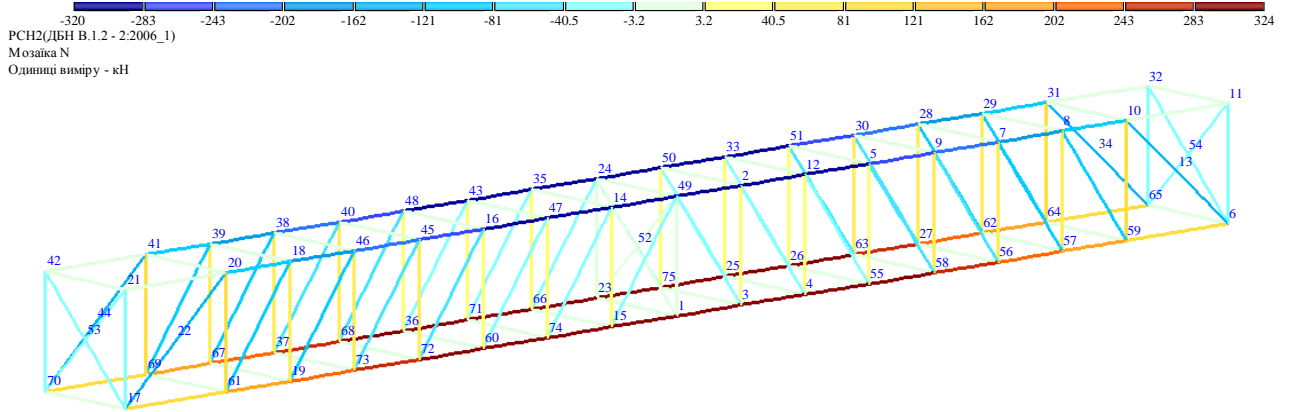


Рисунок А.10 – Мозаїка нормальних сил N

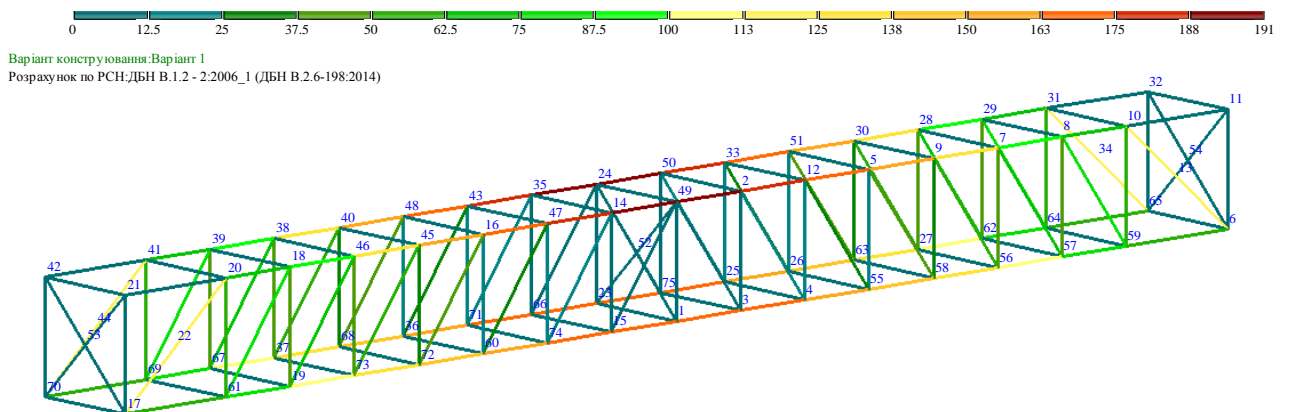


Рисунок А.11 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом

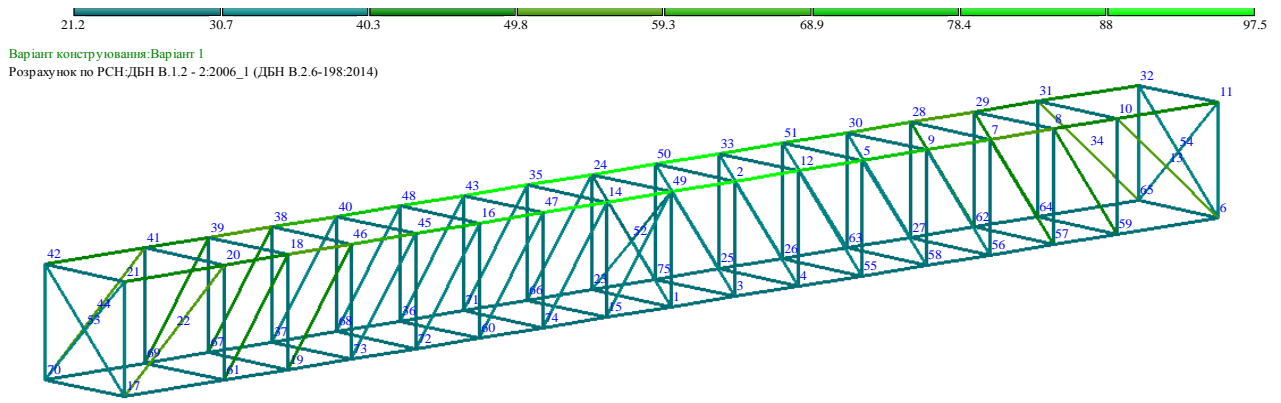


Рисунок А.12 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом

Варіант 4А ($\alpha=60^\circ$)

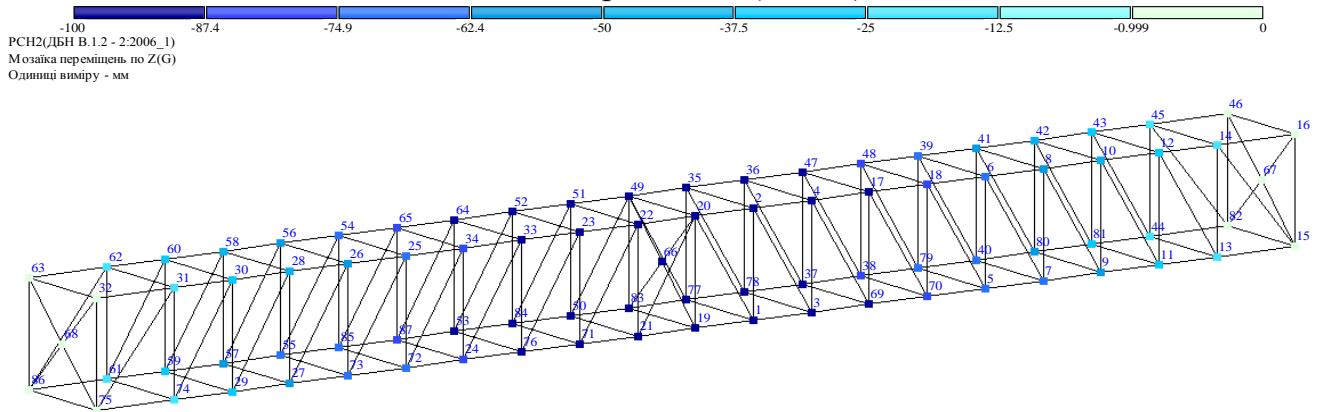


Рисунок А.13 – Мозаїка переміщень по Z(G)

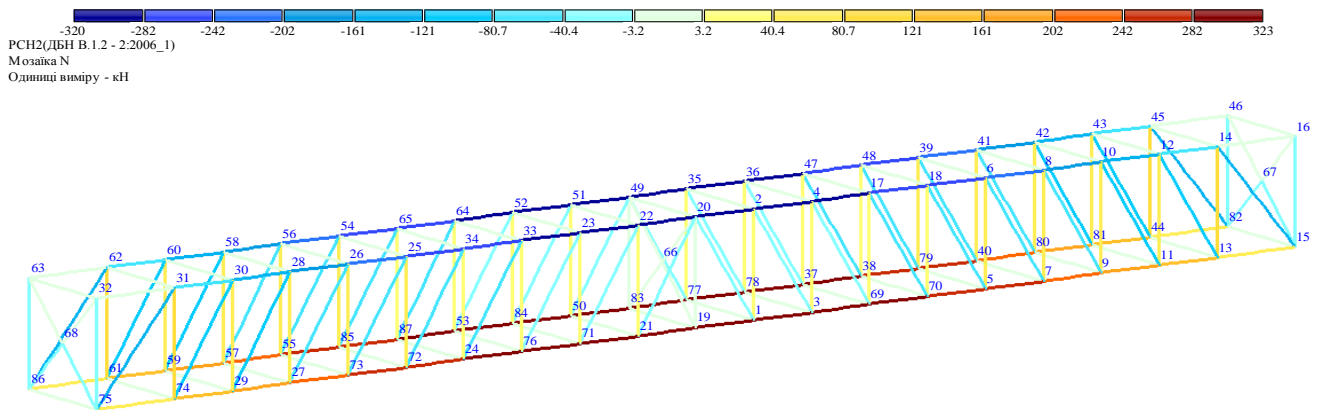


Рисунок А.14 – Мозаїка нормальних сил N

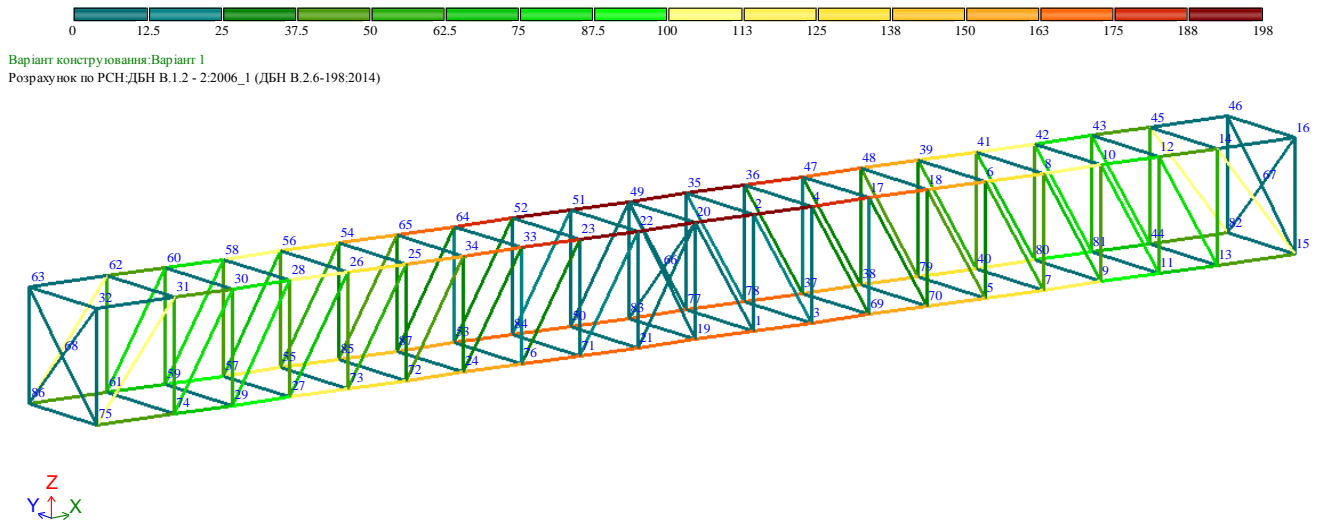


Рисунок А.15 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом

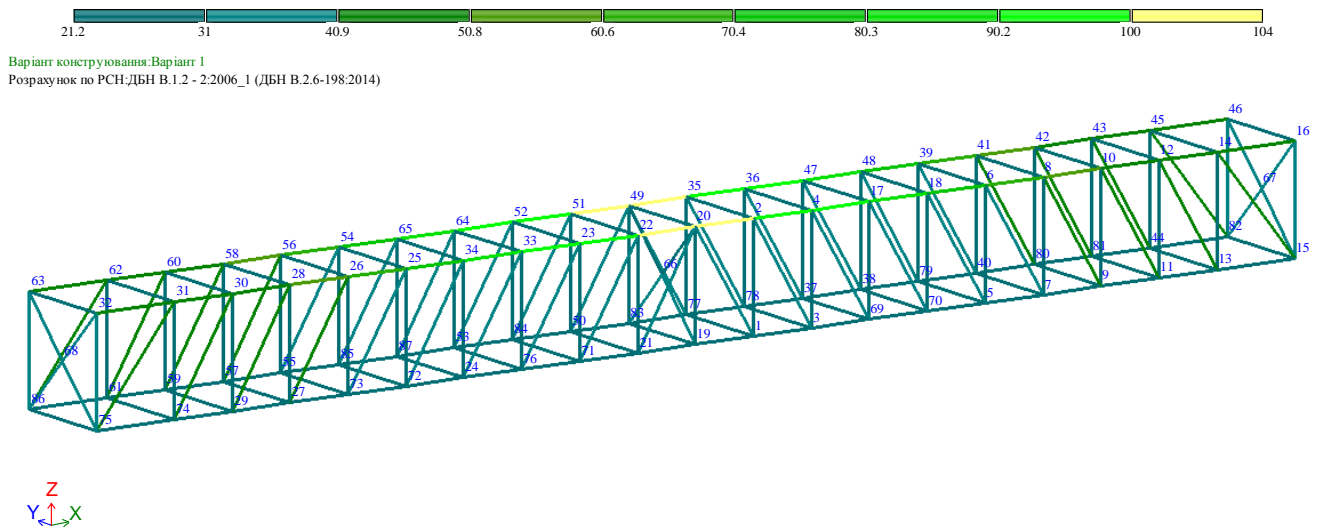


Рисунок А.16 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом

Варіант 5А ($\alpha=65^\circ$)

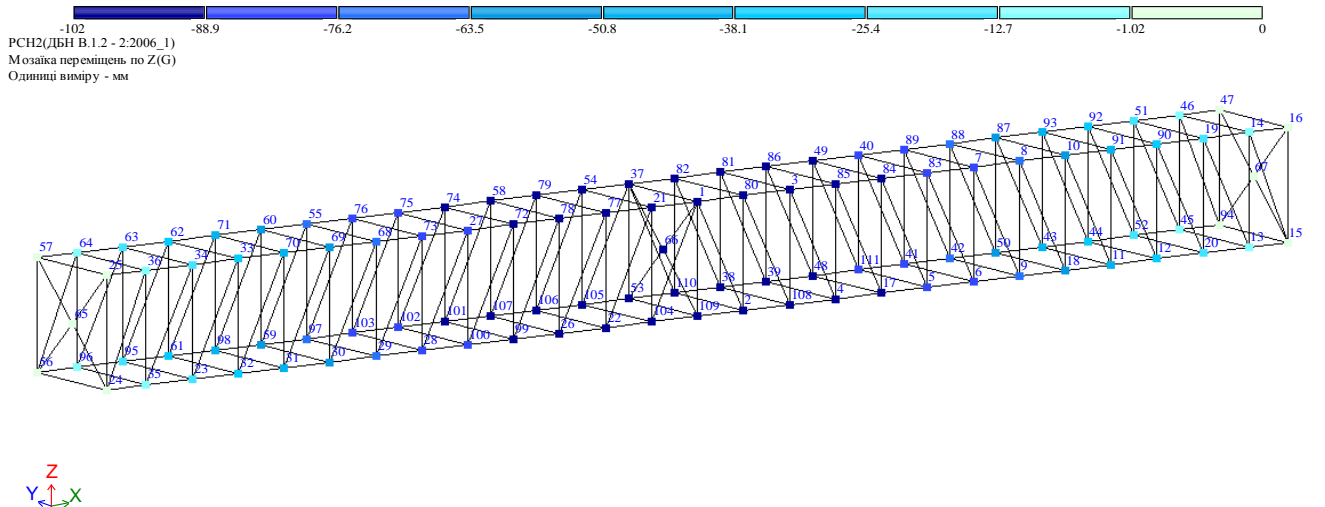


Рисунок А.17 – Мозаїка переміщень по Z(G)

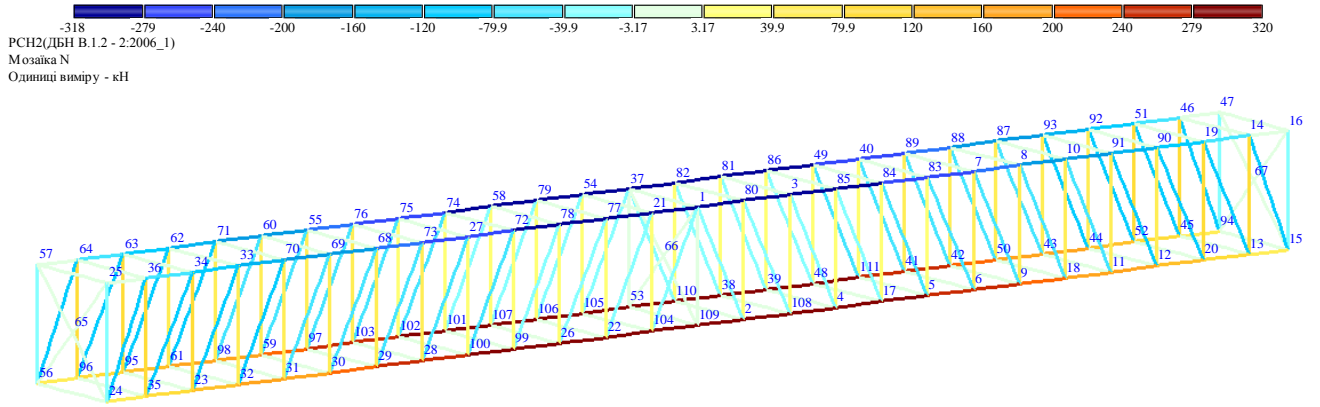


Рисунок А.18 – Мозаїка нормальних сил N

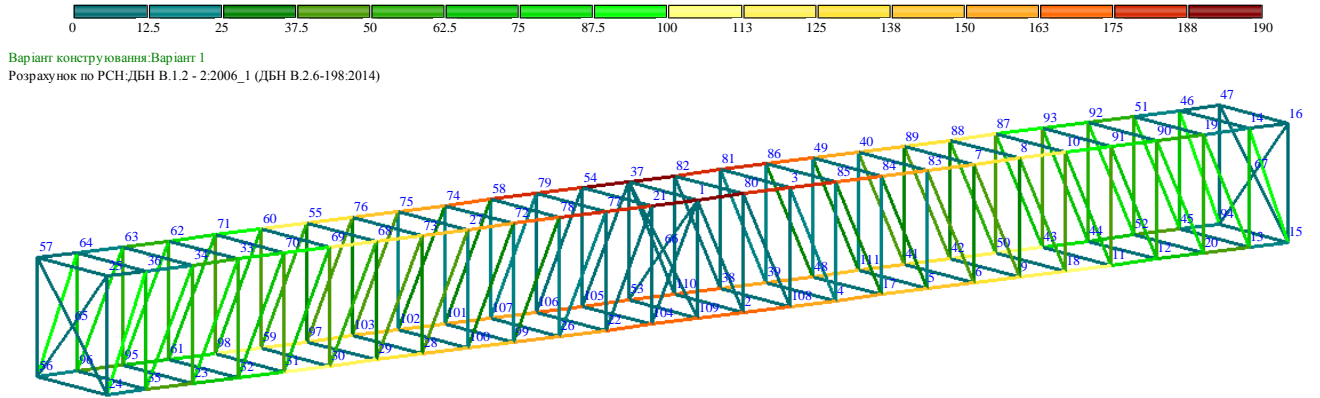


Рисунок А.19 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом

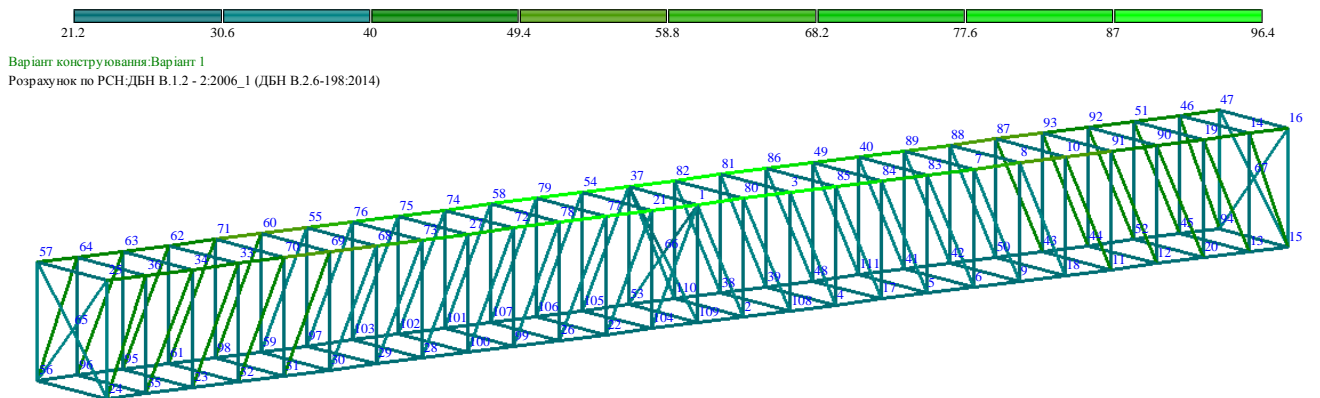


Рисунок А.20 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом

ДОДАТОК Б

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ФЕРМ

СЕРІЇ Б (H = 2,15 м)

Варіант 1Б ($\alpha=45^\circ$)

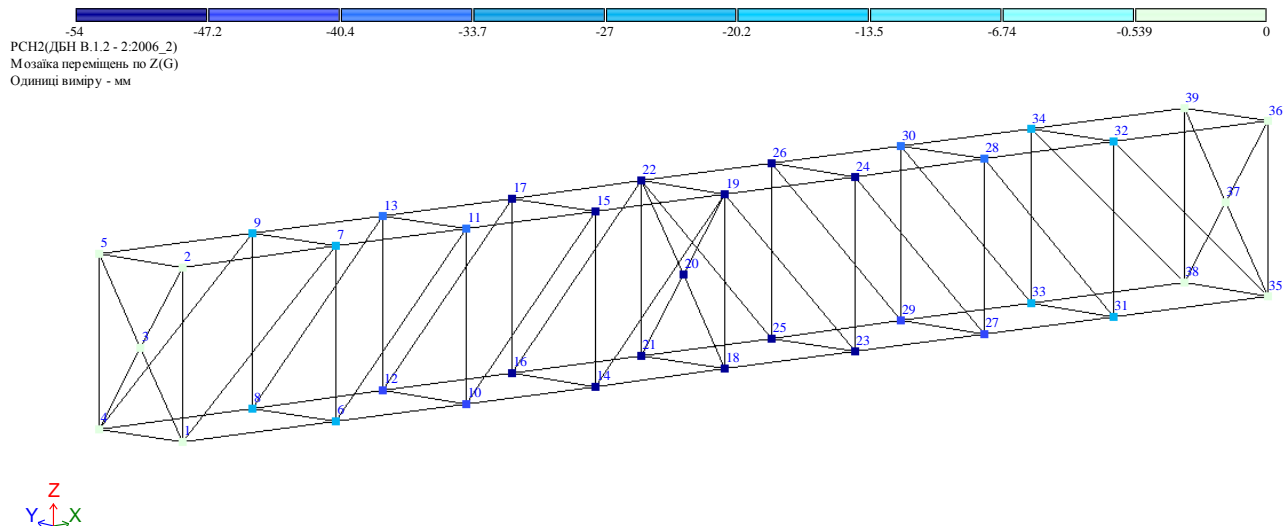


Рисунок Б.1 - Мозаїка переміщень по Z(G)

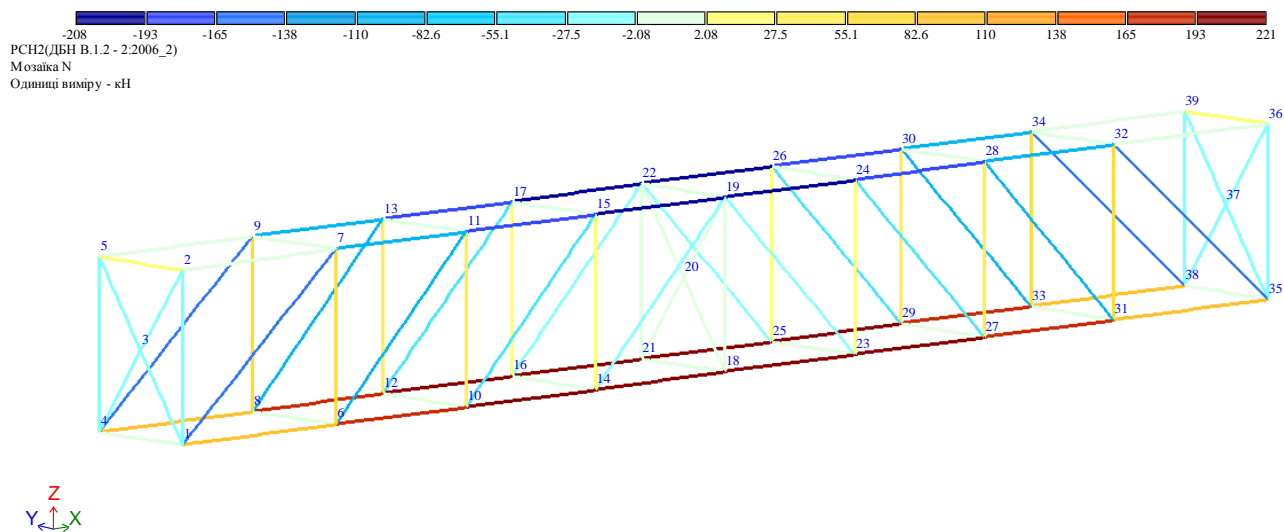


Рисунок Б.2 – Мозаїка нормальних сил N

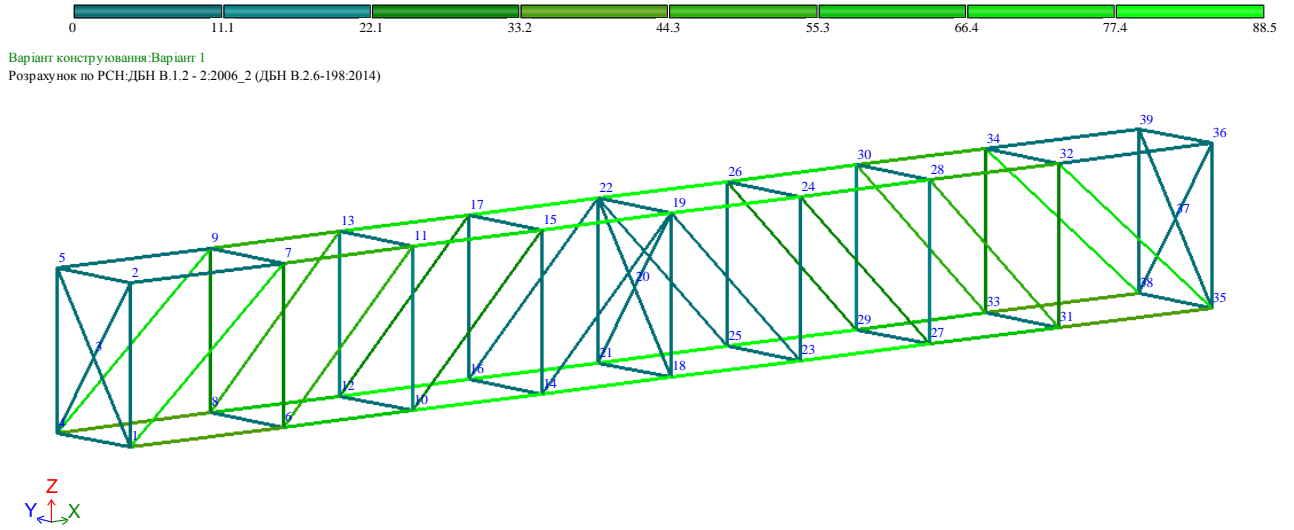


Рисунок Б.3 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом

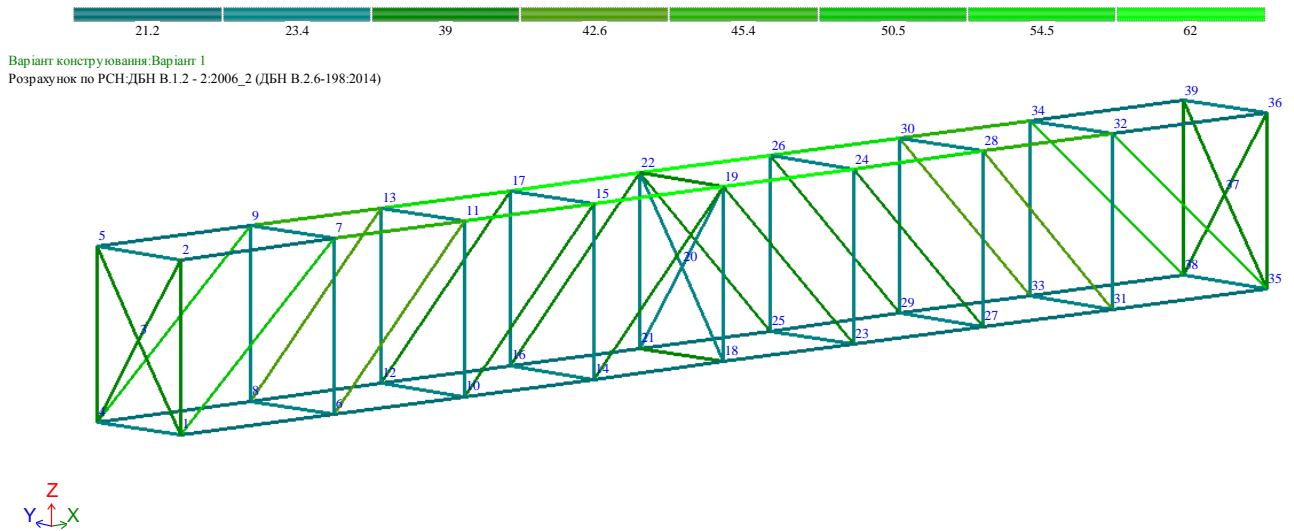


Рисунок Б.4 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом

Варіант 2Б ($\alpha=50^\circ$)

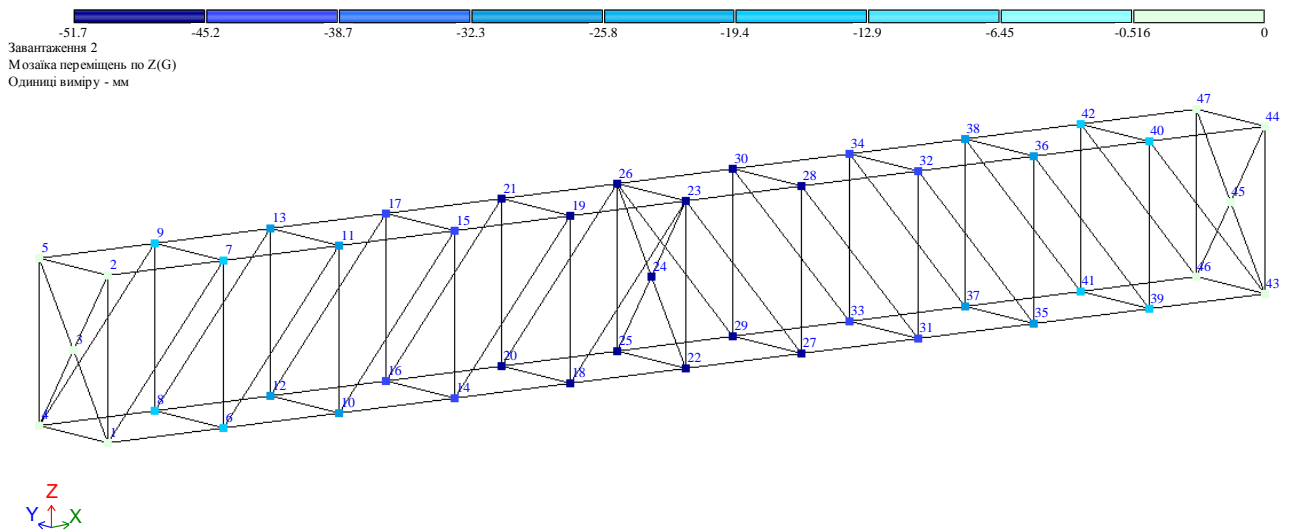


Рисунок Б.5 – Мозаїка переміщень по Z(G)

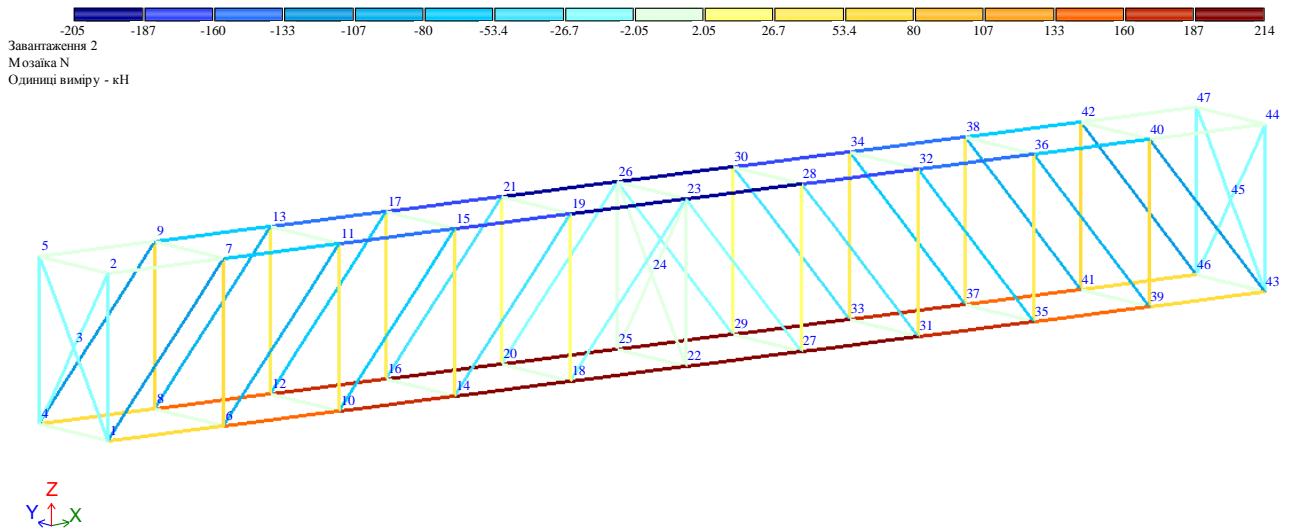


Рисунок Б.6 – Мозаїка нормальних сил N

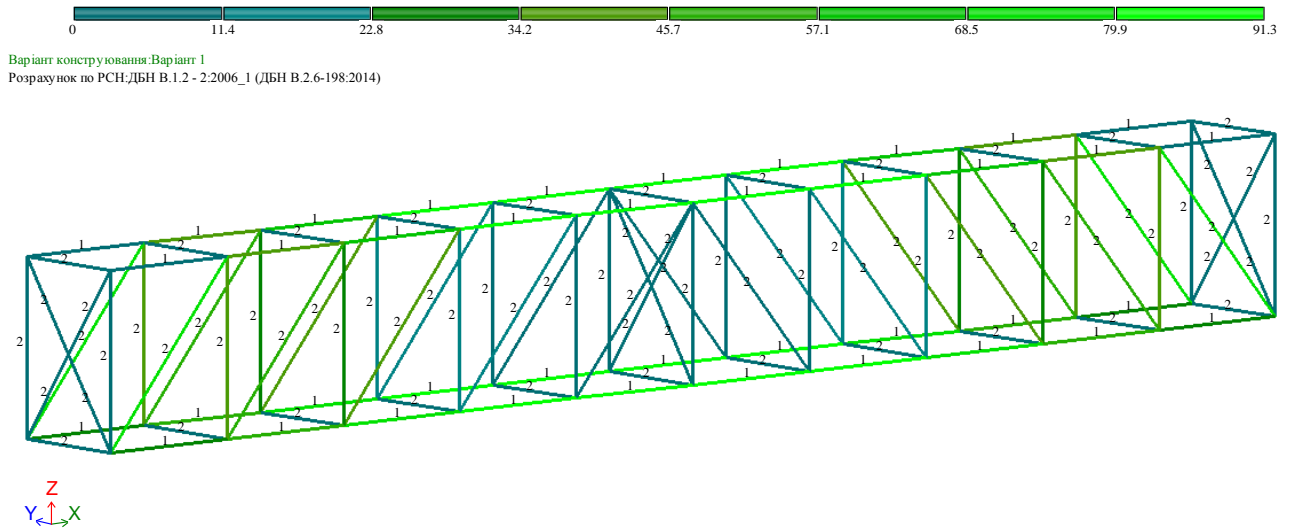


Рисунок Б.7 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом

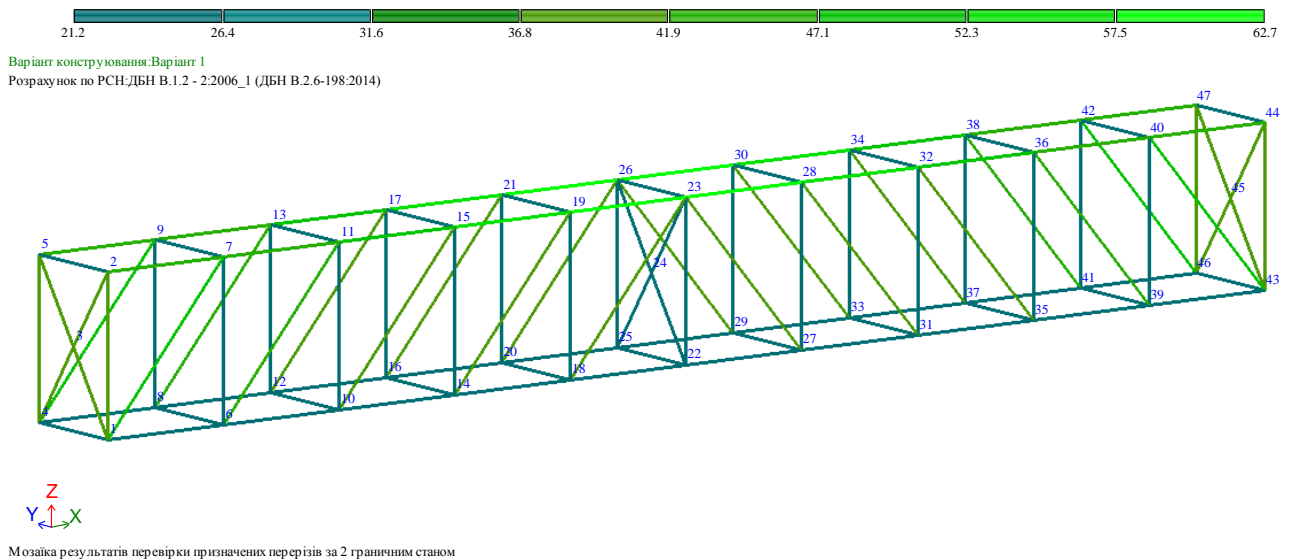


Рисунок Б.8 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом

Варіант 3Б ($\alpha=55^\circ$)

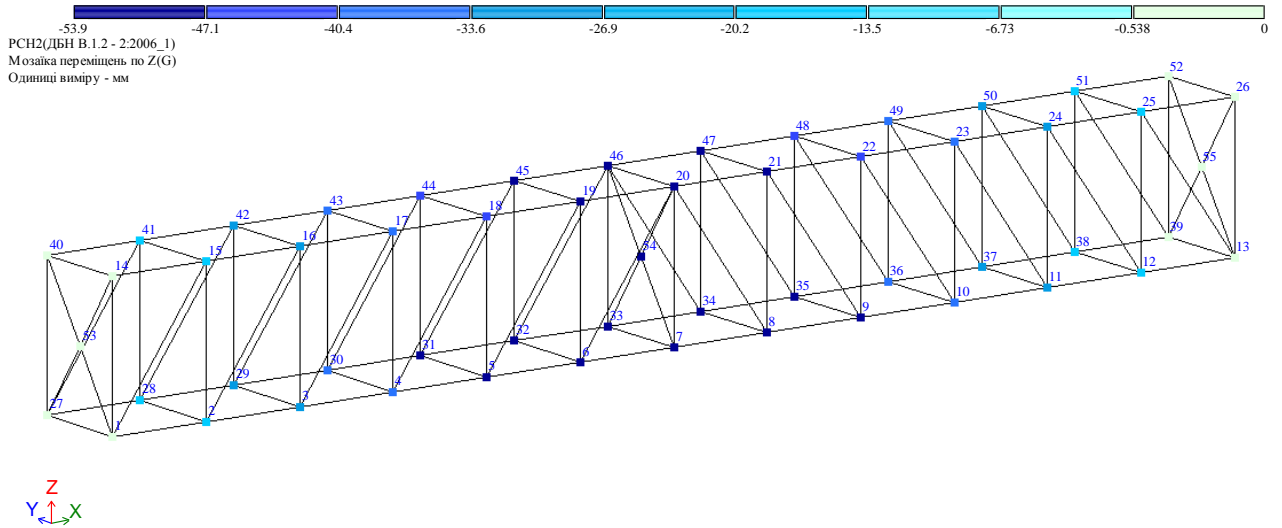


Рисунок Б.9 – Мозаїка переміщень по Z(G)

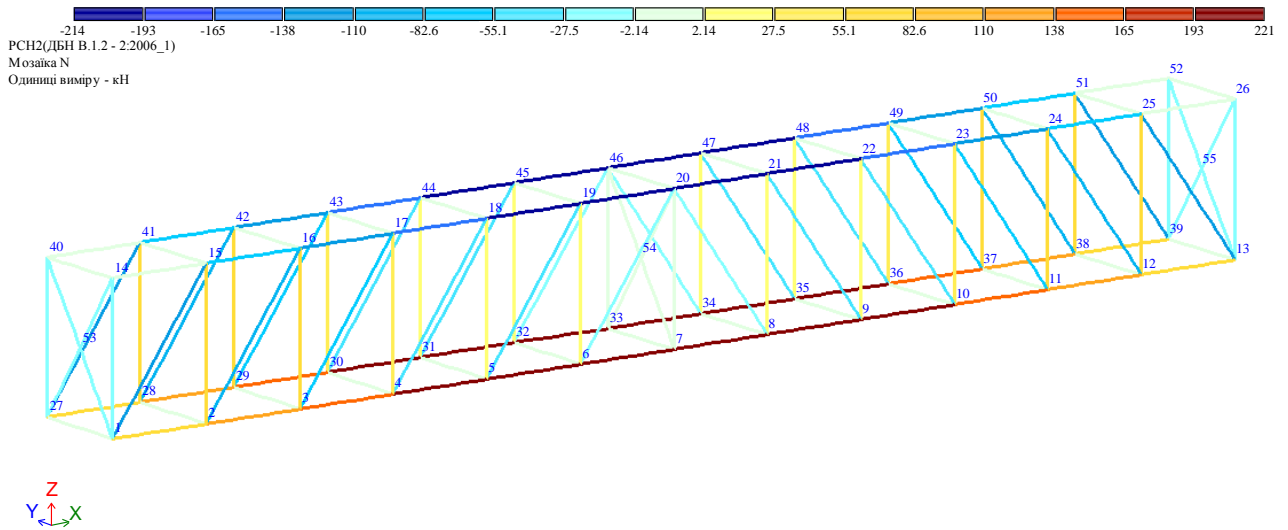


Рисунок Б.10 – Мозаїка нормальних сил N

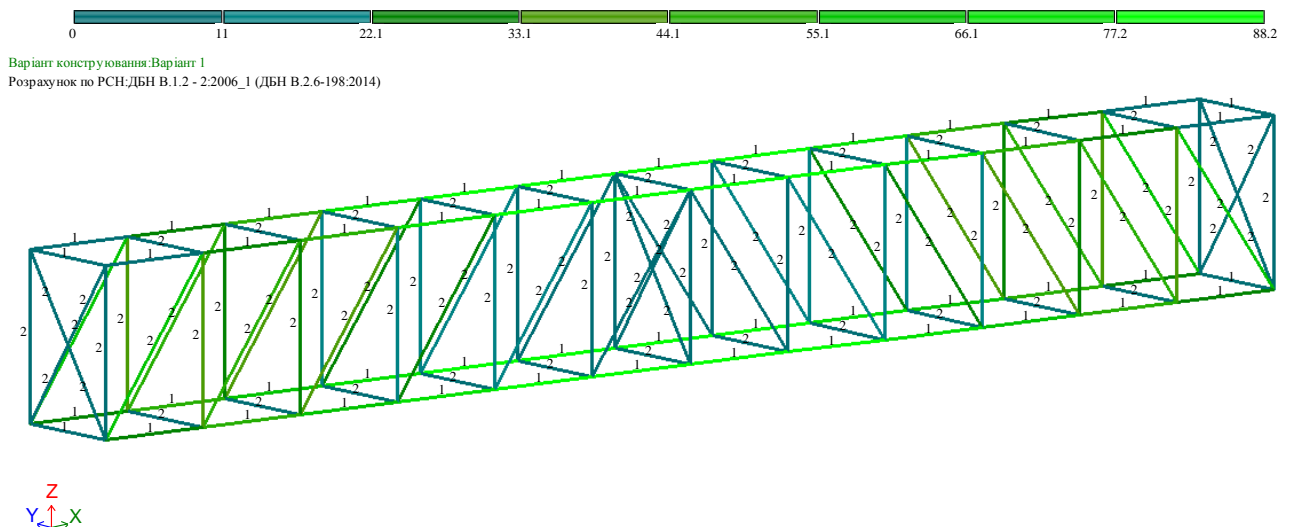


Рисунок Б.11 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом

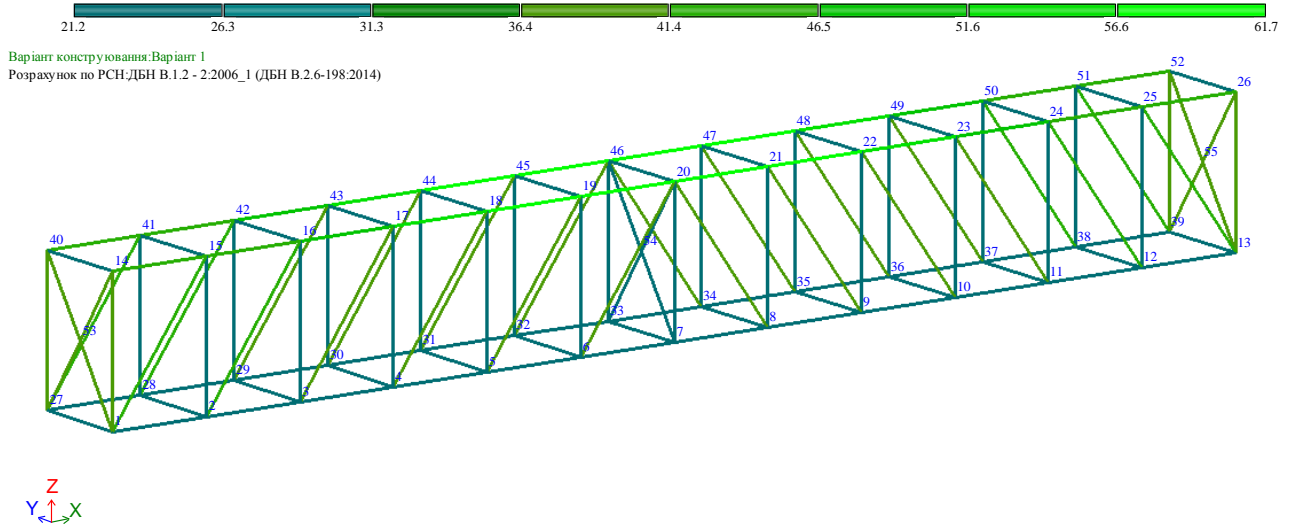


Рисунок Б.12 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом
Варіант 4Б ($\alpha=60^\circ$)

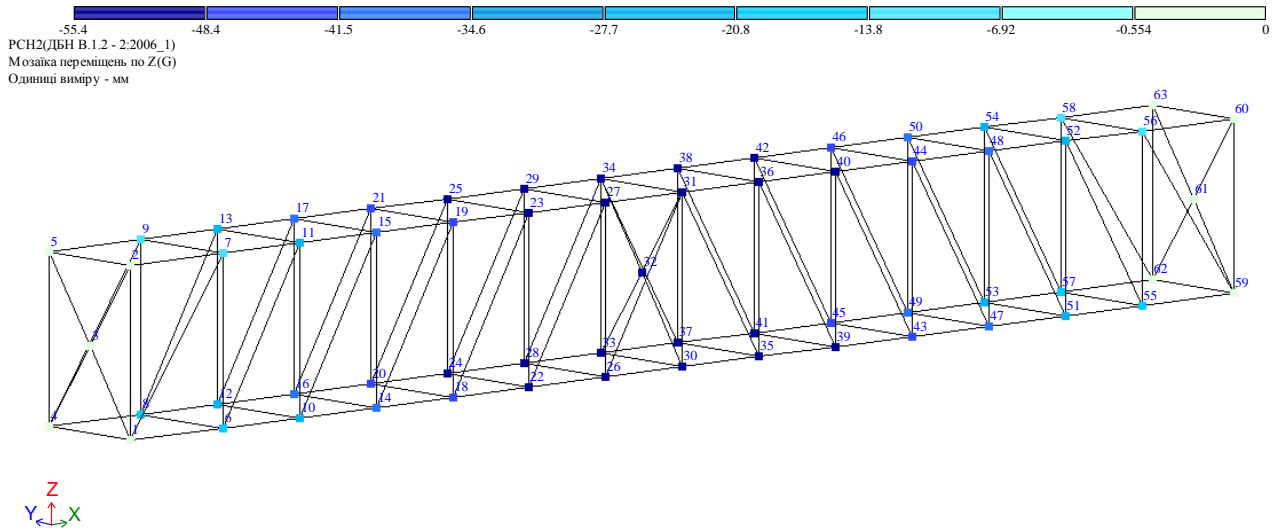


Рисунок Б.13 – Мозаїка переміщень по Z(G)

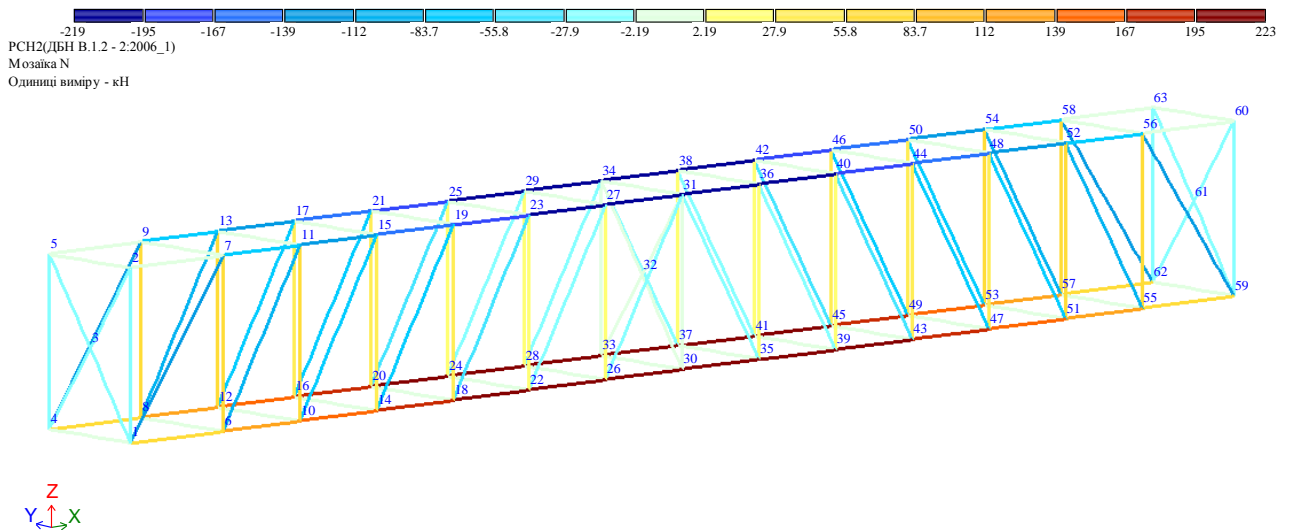
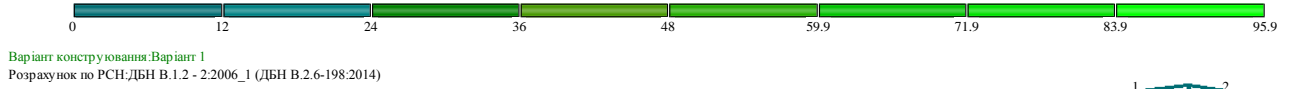


Рисунок Б.14 – Мозаїка нормальних сил N



Варіант конструювання: Варіант 1
 Розрахунок по РСН:ДБН В.1.2 - 2:2006_1 (ДБН В.2.6-198:2014)

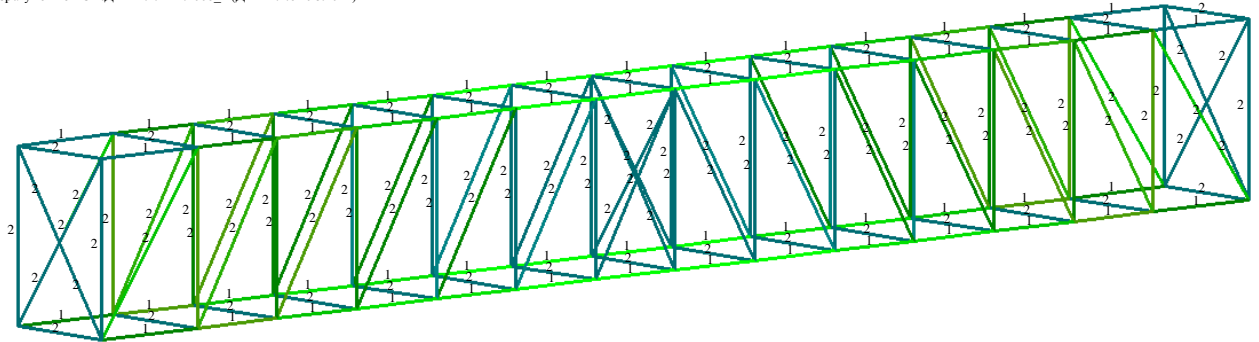
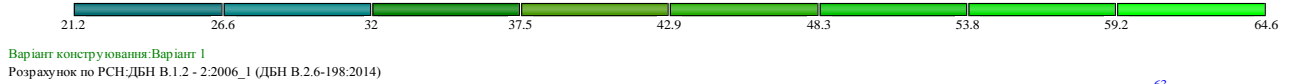


Рисунок Б.15 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом



Варіант конструювання: Варіант 1
 Розрахунок по РСН:ДБН В.1.2 - 2:2006_1 (ДБН В.2.6-198:2014)

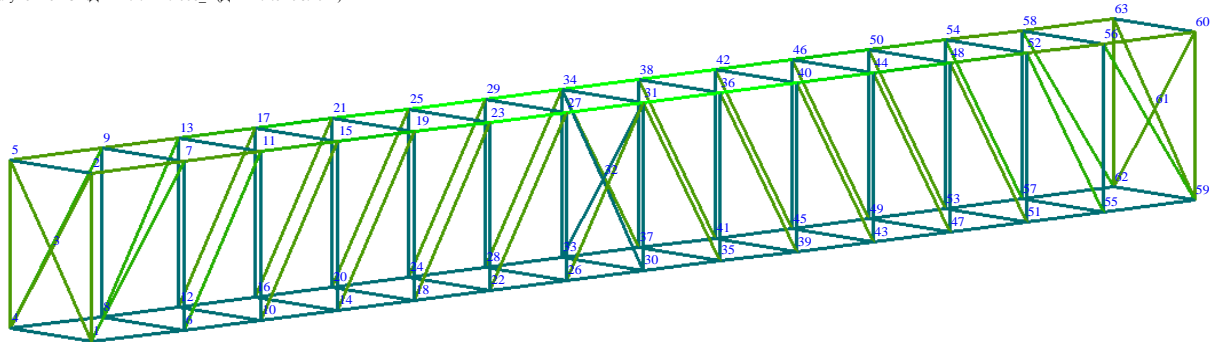
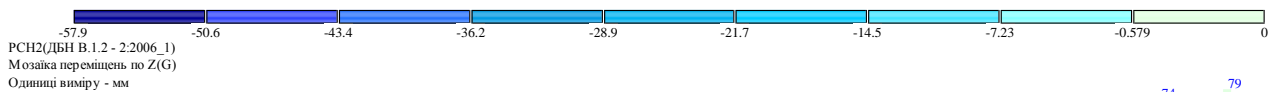


Рисунок Б.16 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом

Варіант 5Б ($\alpha=65^\circ$)



РСН2(ДБН В.1.2 - 2:2006_1)
 Мозаїка переміщень по Z(G)
 Одиниці виміру - мм

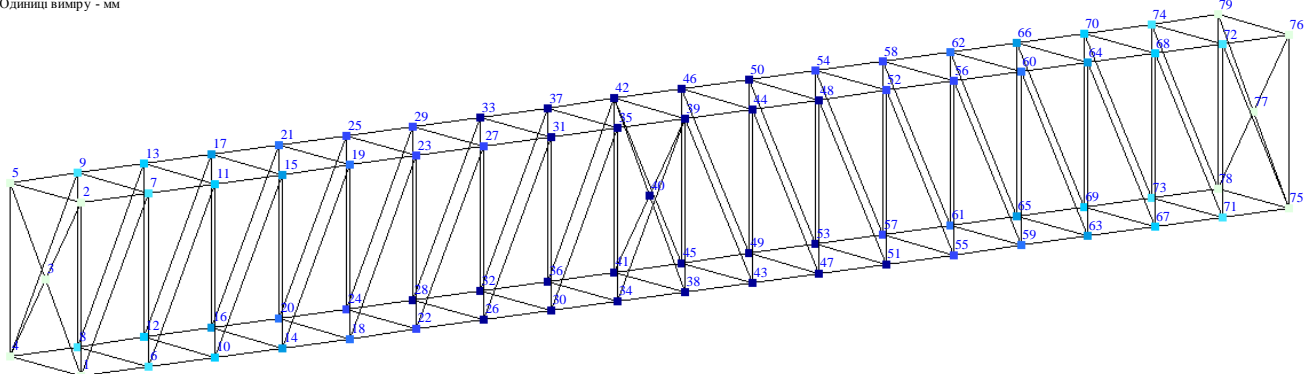


Рисунок Б.17 – Мозаїка переміщень по Z(G)

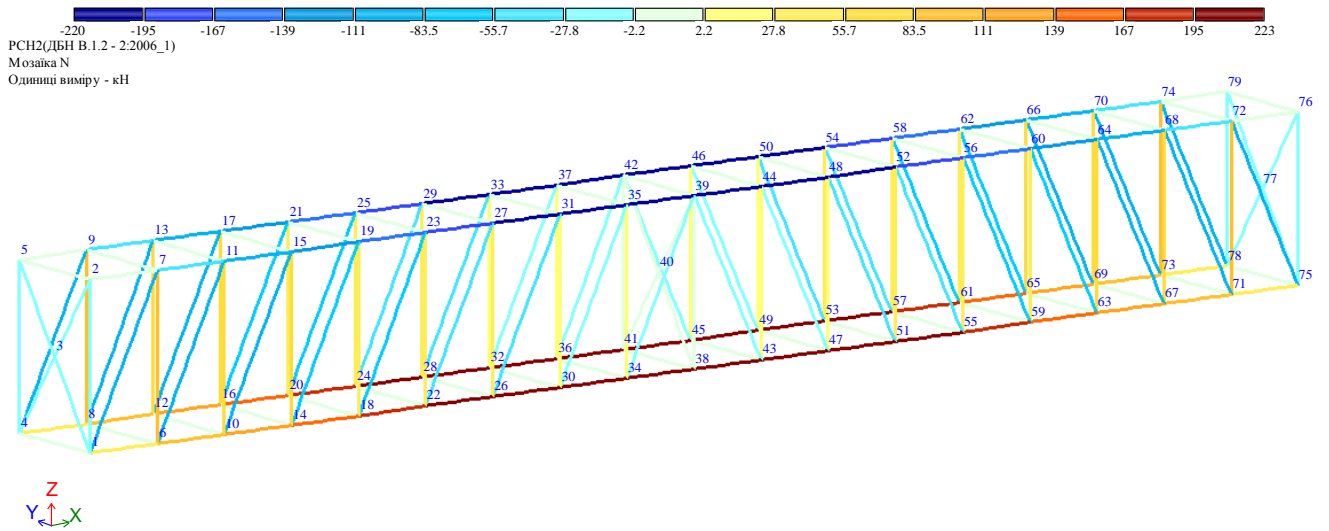


Рисунок Б.18 – Мозаїка нормальних сил N

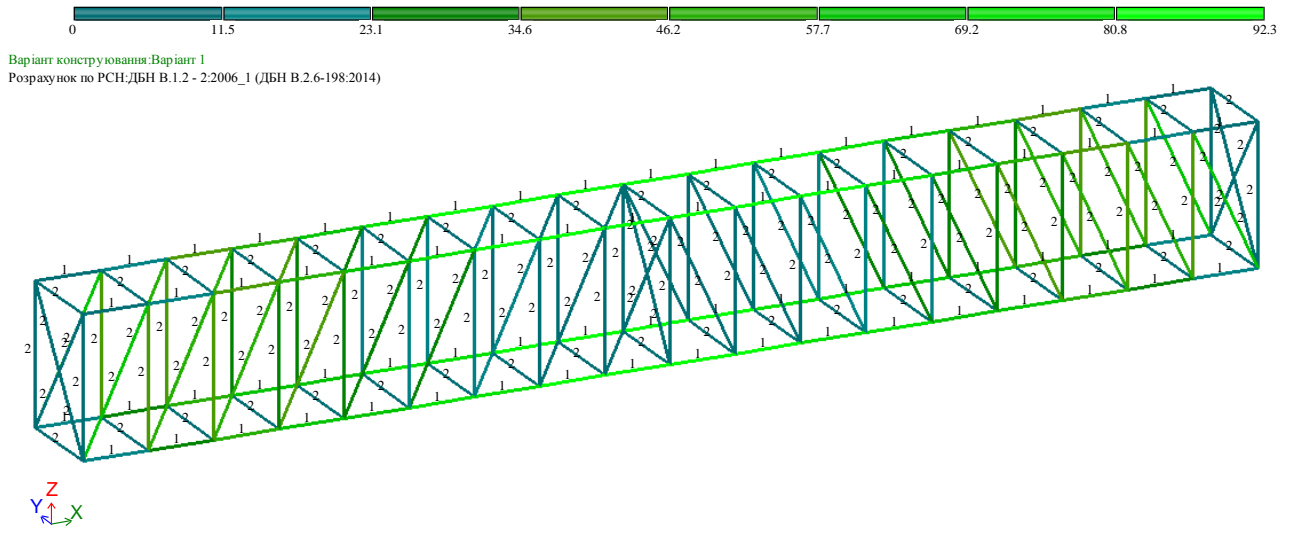


Рисунок Б.19 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом

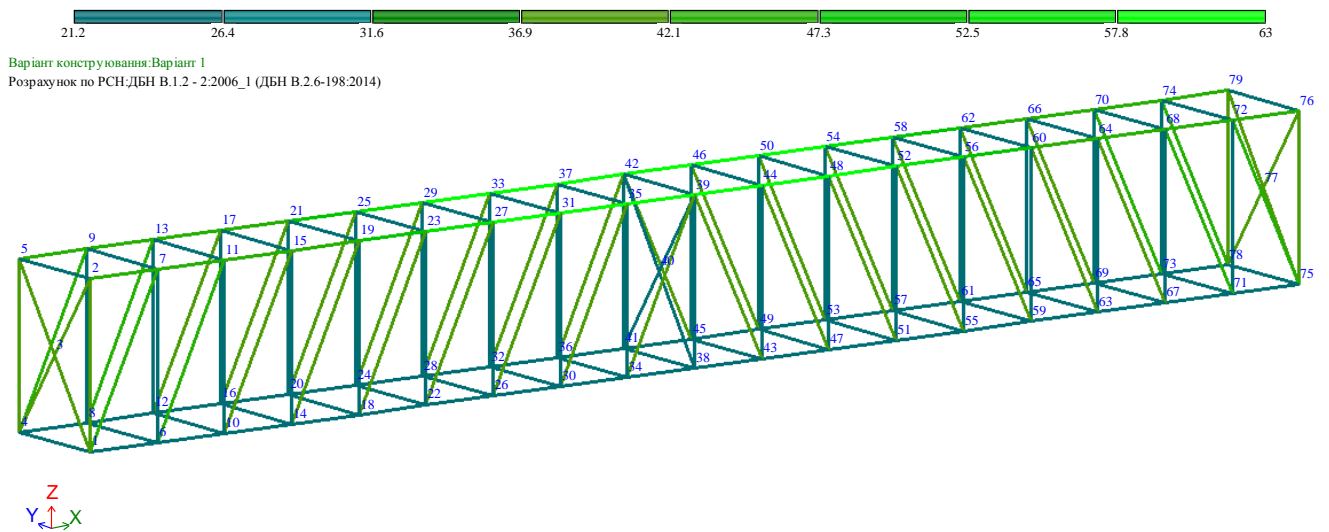


Рисунок Б.20 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом

ДОДАТОК В

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ФЕРМ

СЕРІЇ В (H = 2,8 м)

Варіант 1В ($\alpha=45^\circ$)

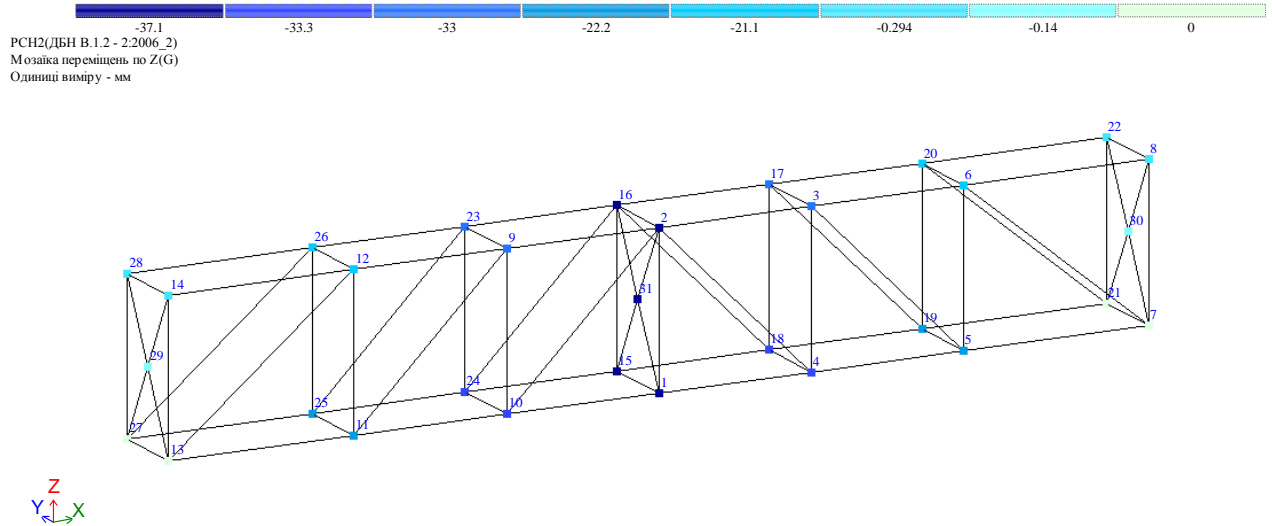


Рисунок В.1 – Мозаїка переміщень по Z(G)

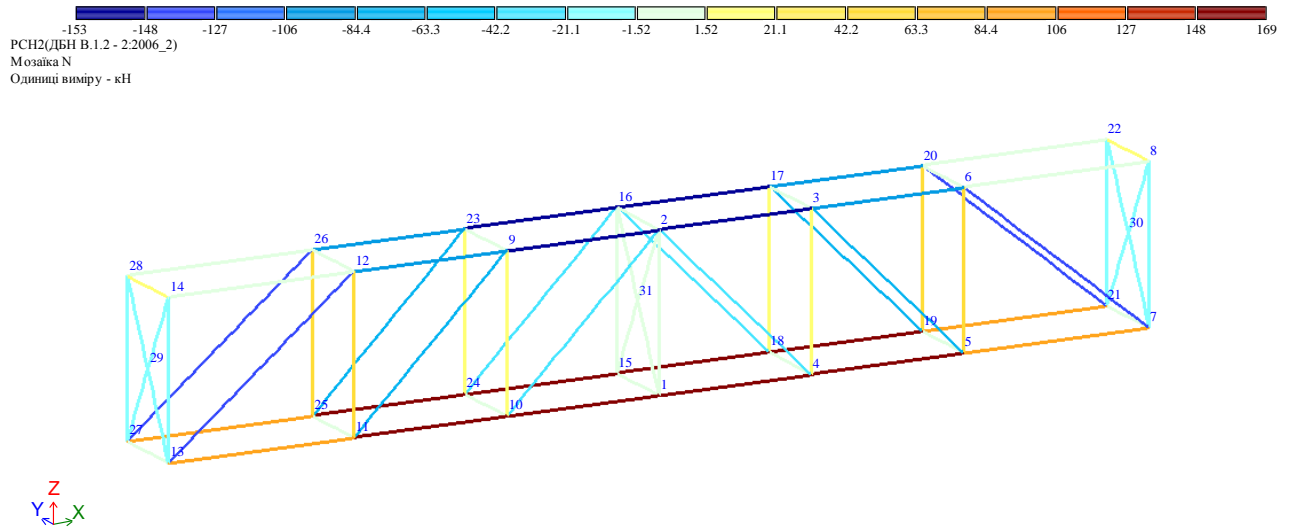


Рисунок В.2 – Мозаїка нормальних сил N

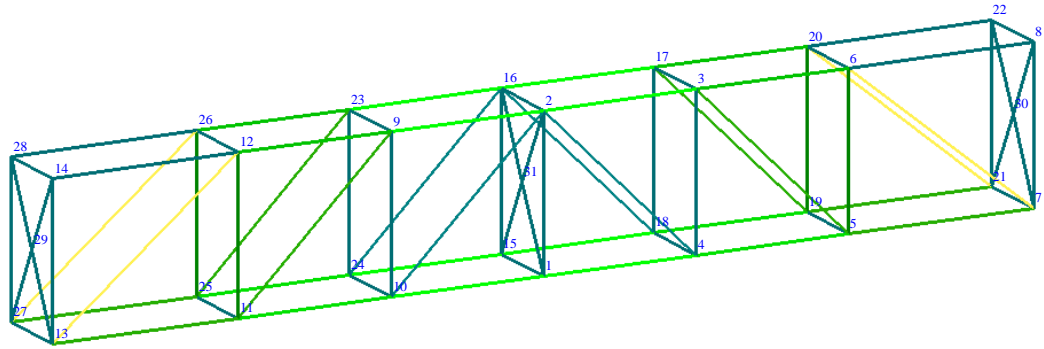
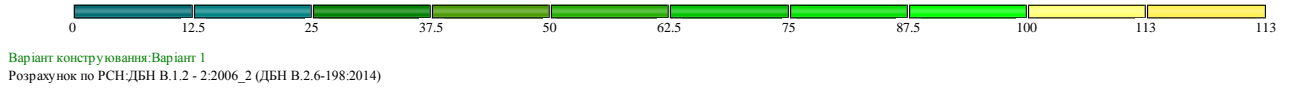


Рисунок В.3 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом

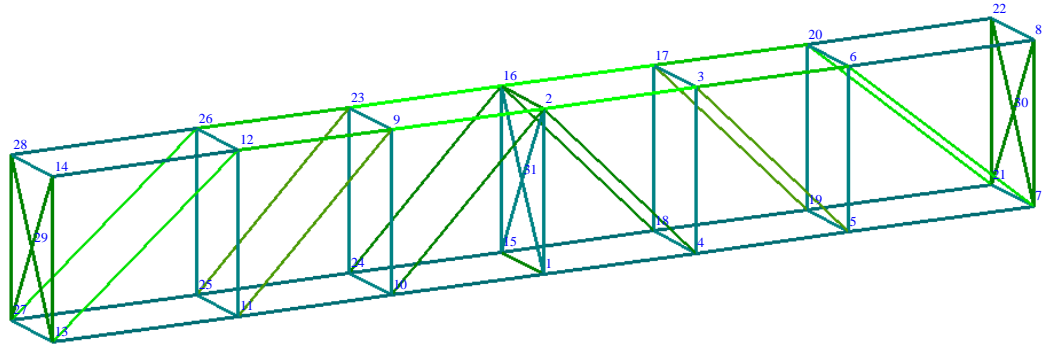
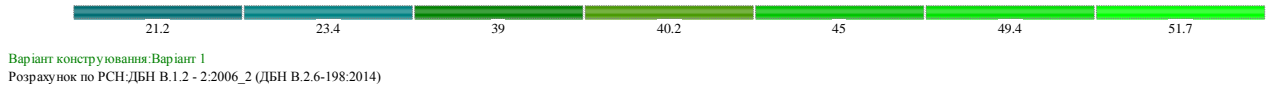


Рисунок В.4 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом

Варіант 2В ($\alpha=50^\circ$)

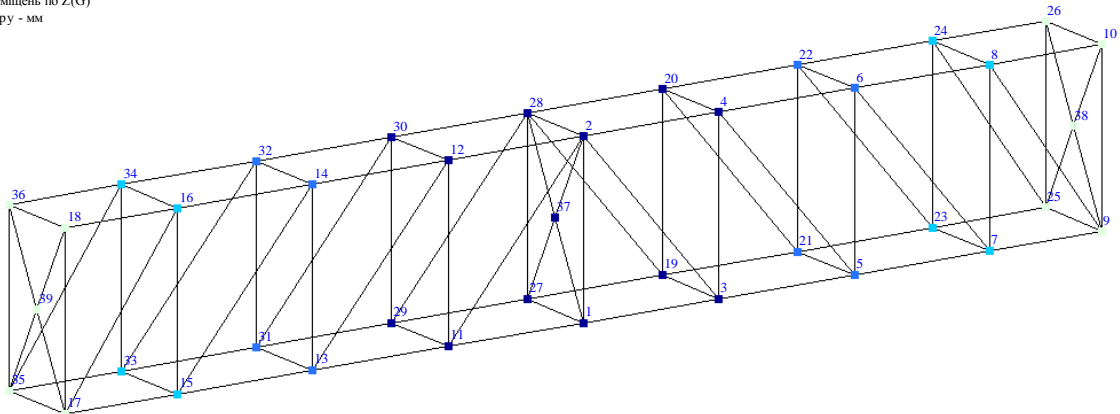


Рисунок В.5 – Мозаїка переміщень по Z(G)



Рисунок В.6 – Мозаїка нормальних сил N

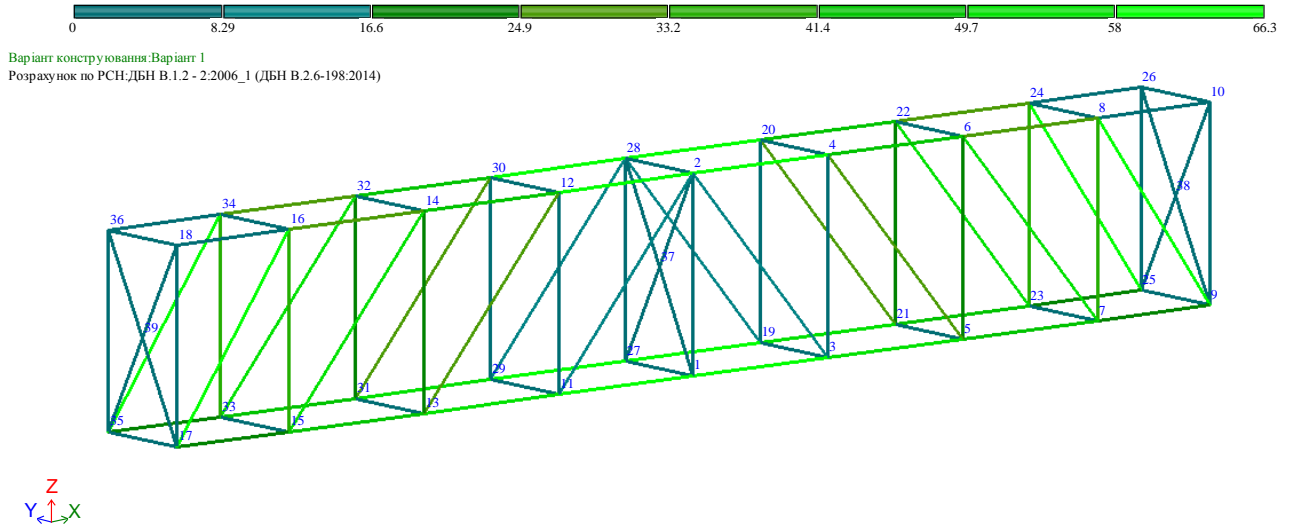


Рисунок В.7 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом

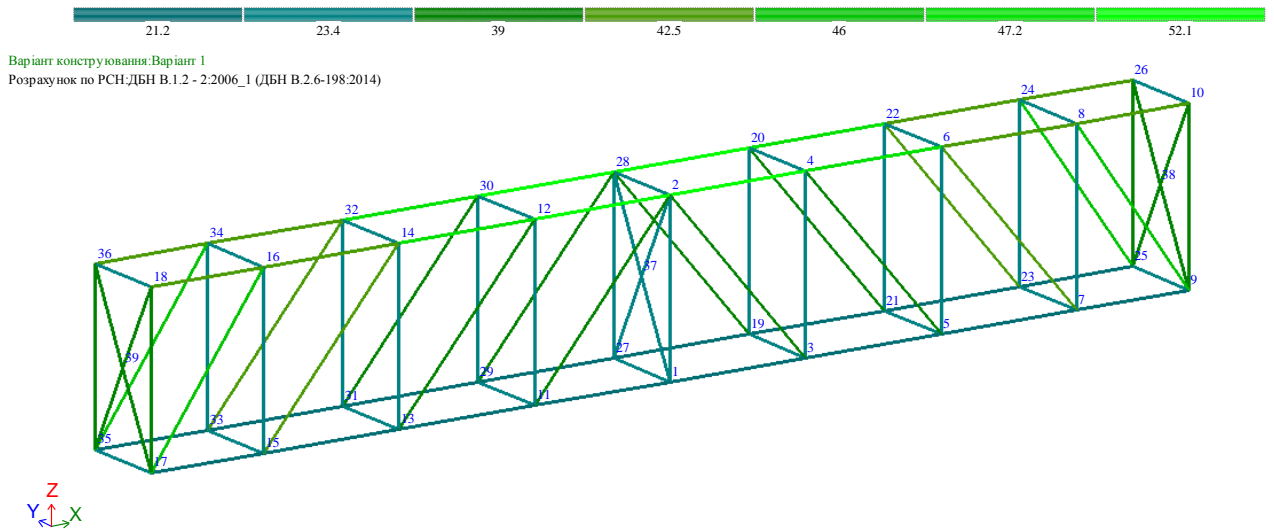


Рисунок В.8 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом

Варіант 3В ($\alpha=55^\circ$)

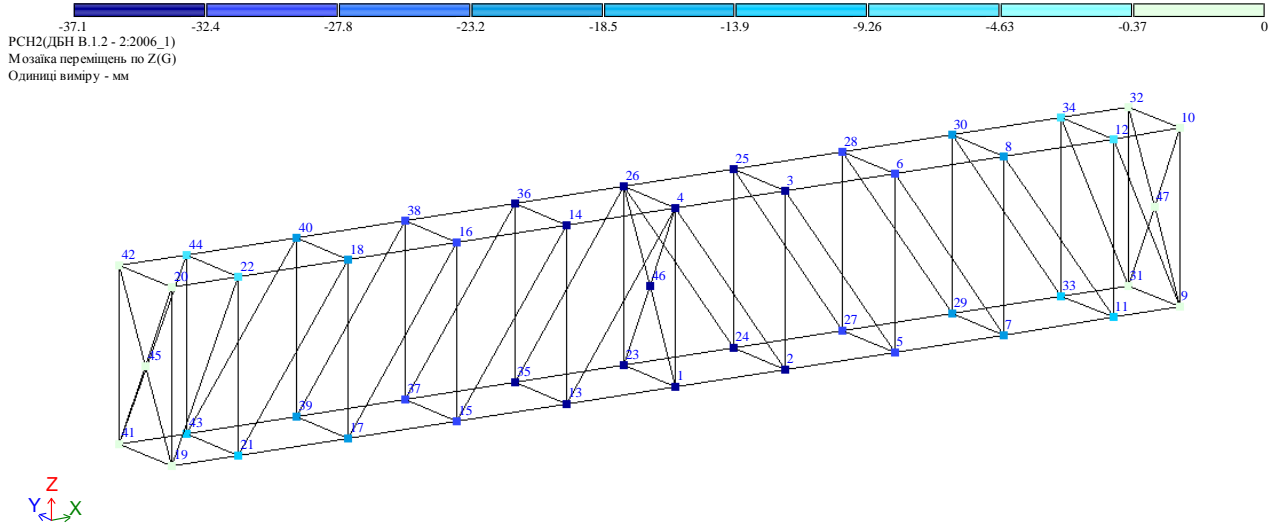


Рисунок В.9 – Мозаїка переміщень по Z(G)

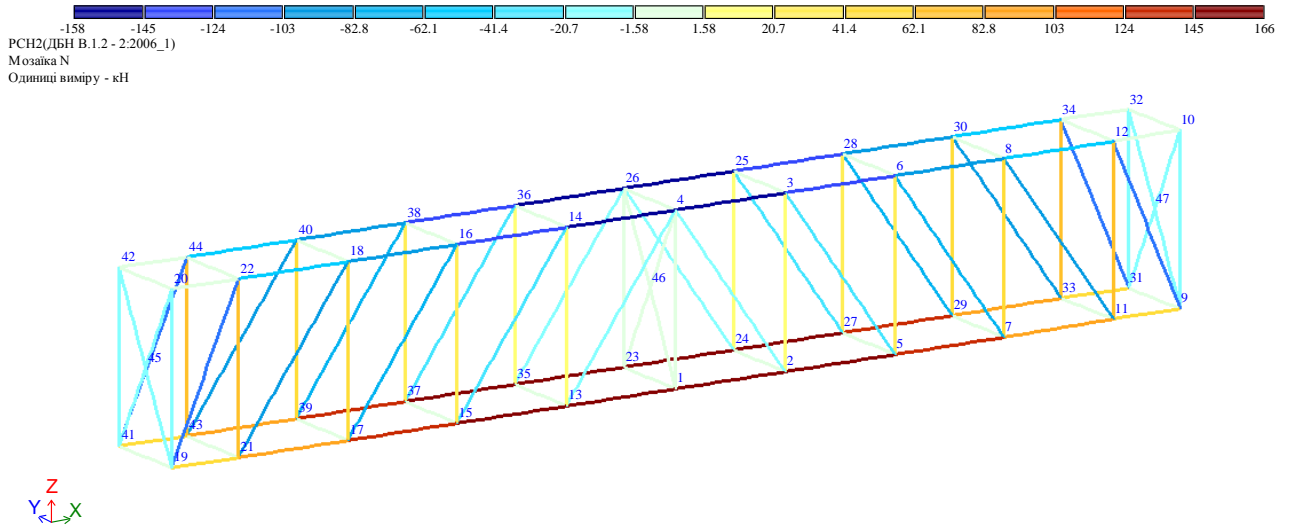


Рисунок В.10 – Мозаїка нормальних сил N

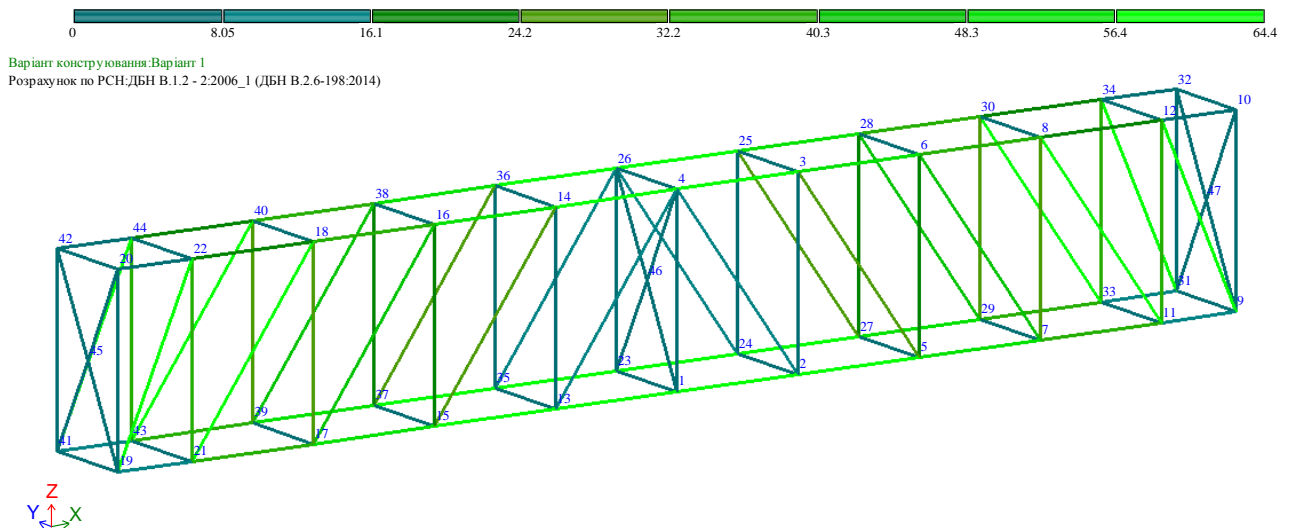


Рисунок В.11 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом

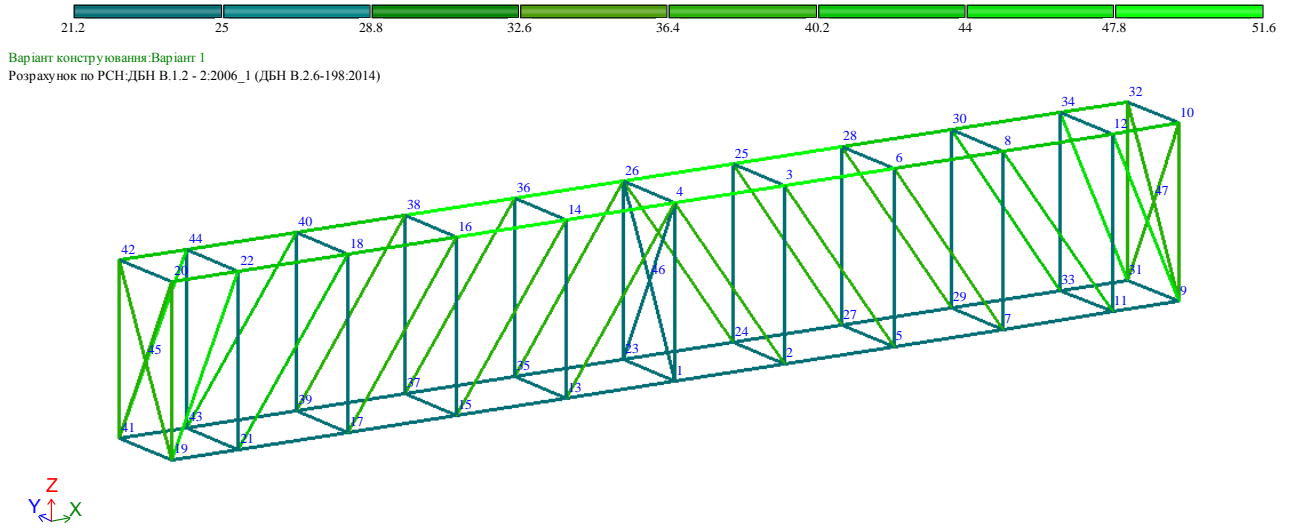


Рисунок В.12 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом

Варіант 4В ($\alpha=60^\circ$)

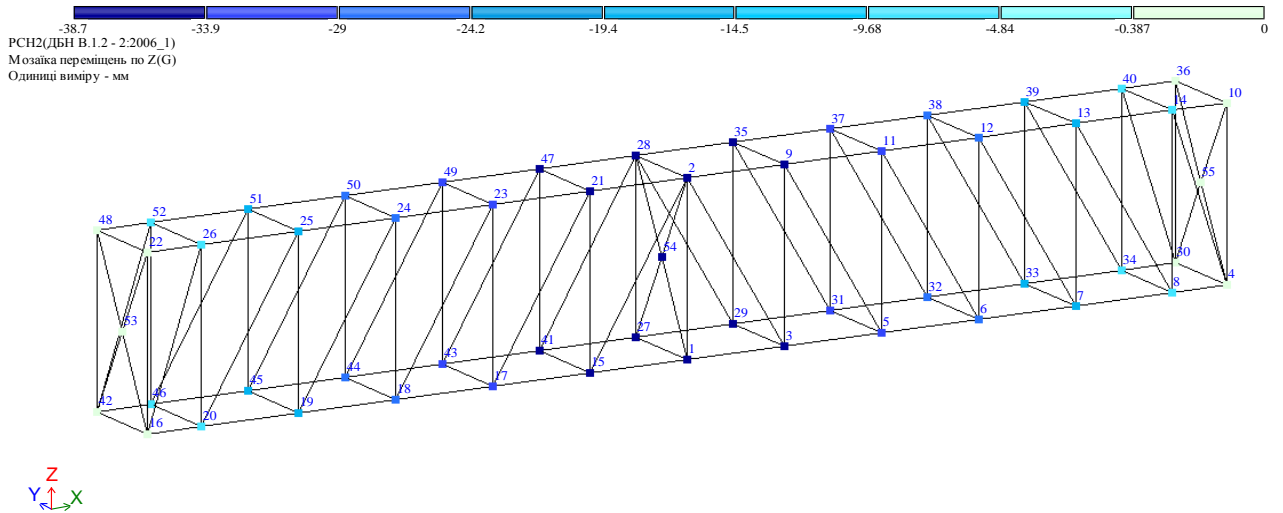


Рисунок В.13 – Мозаїка переміщень по Z(G)

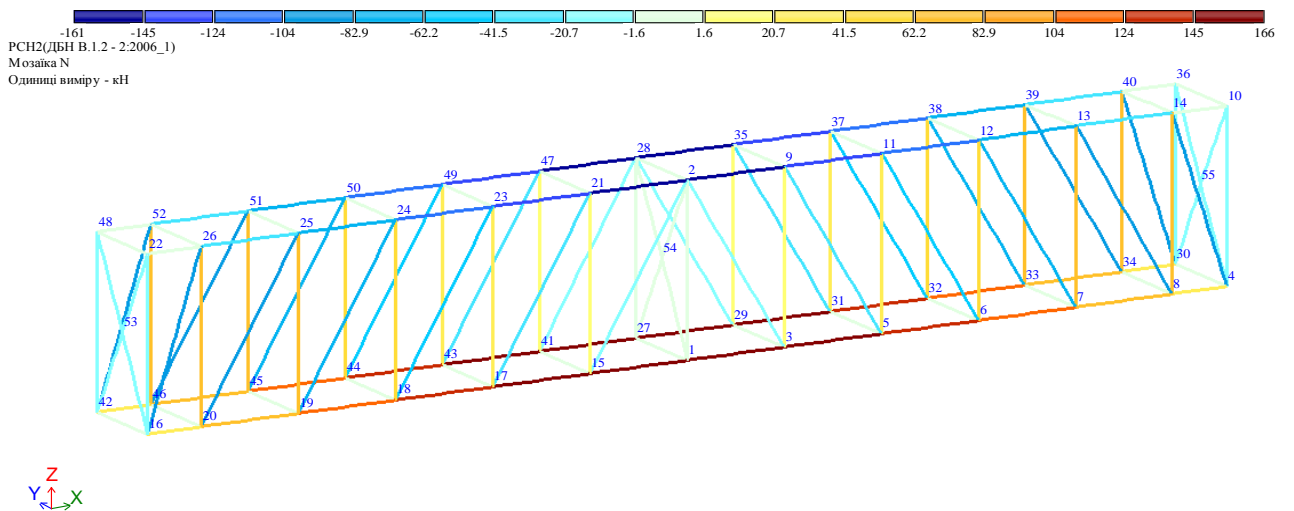
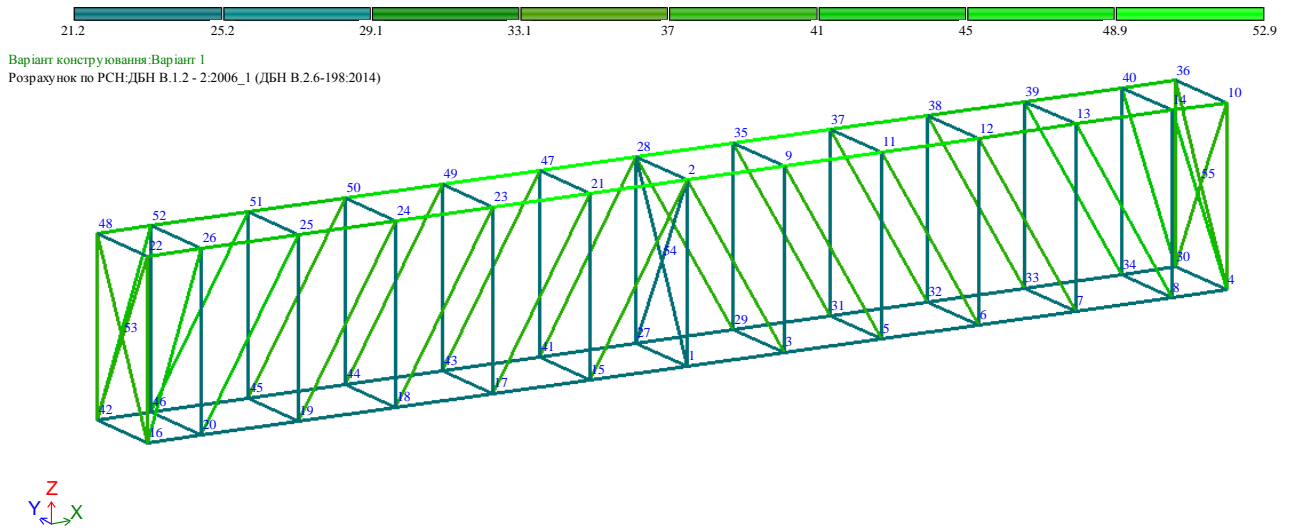
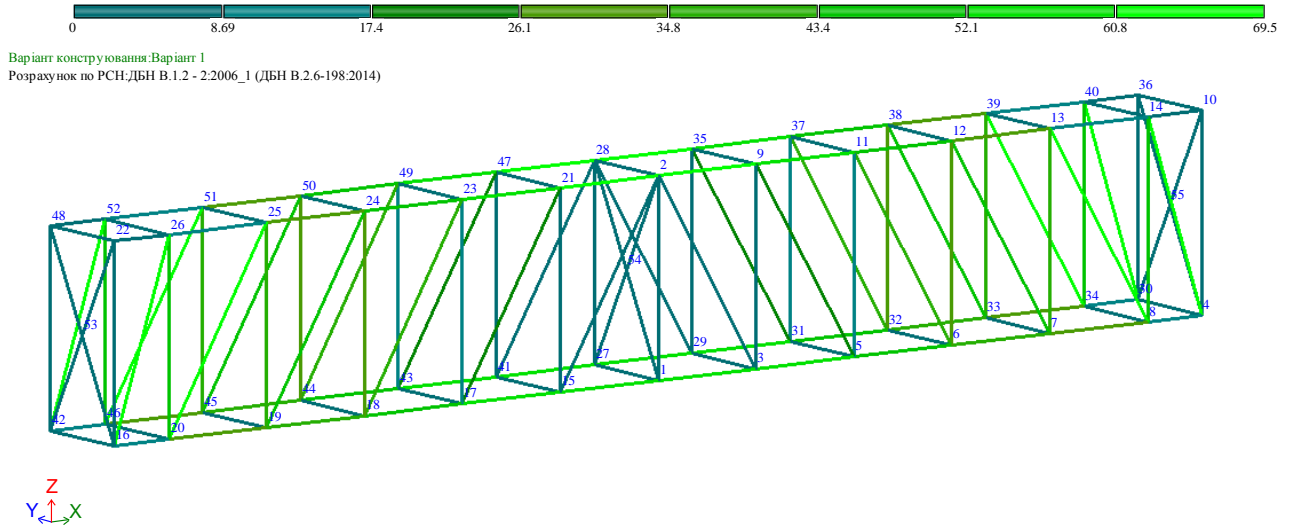
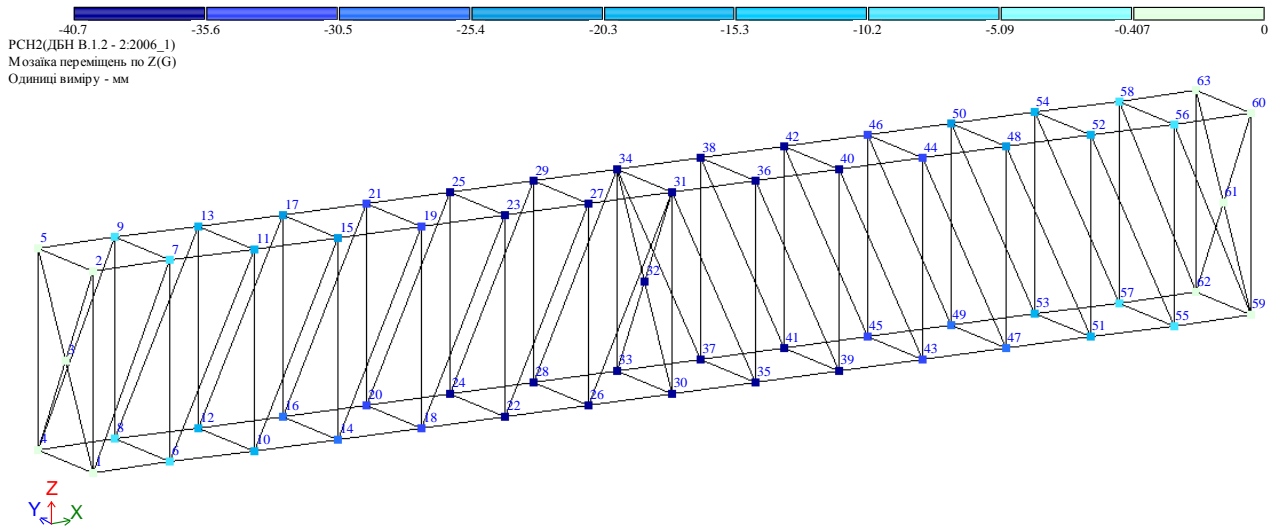


Рисунок В.14 – Мозаїка нормальних сил N



Варіант 5В ($\alpha=65^\circ$)



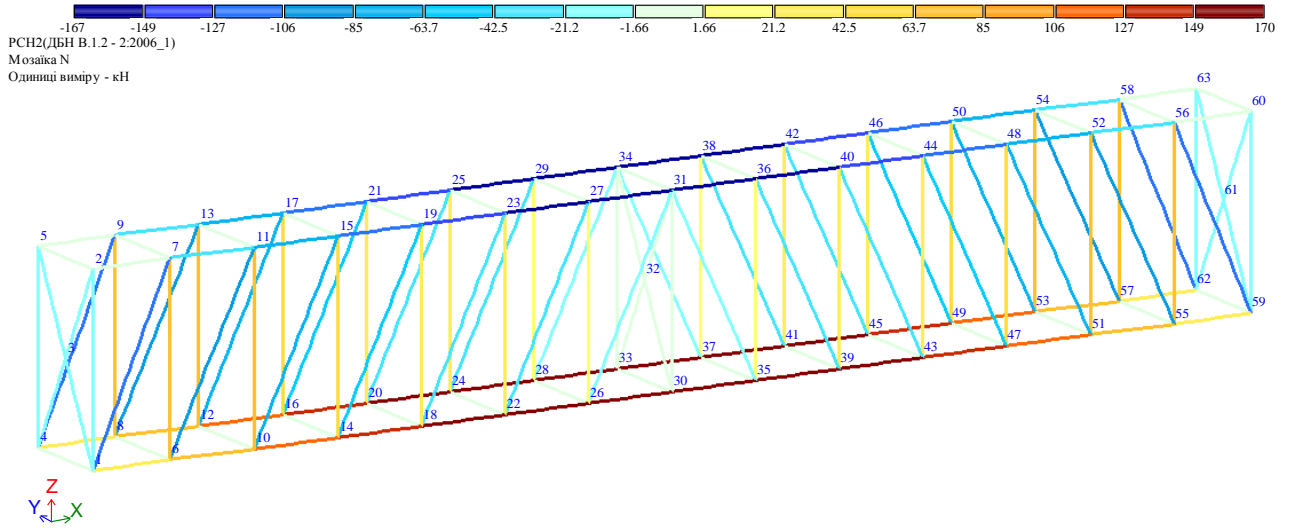


Рисунок В.18 – Мозаїка нормальних сил N

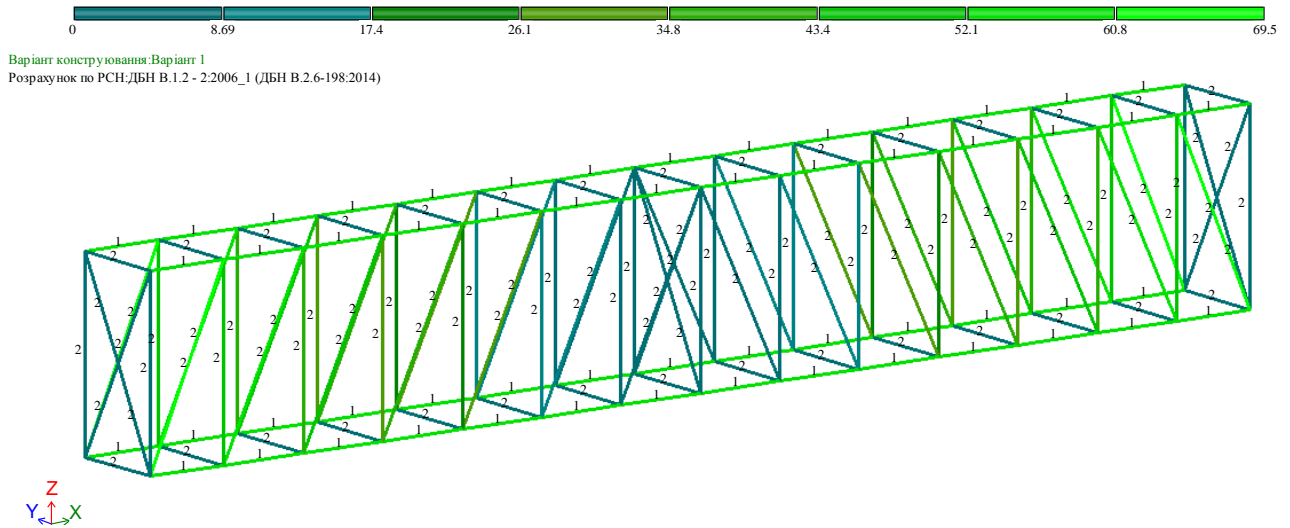


Рисунок В.19 – Мозаїка результатів перевірки за 1 граничним станом

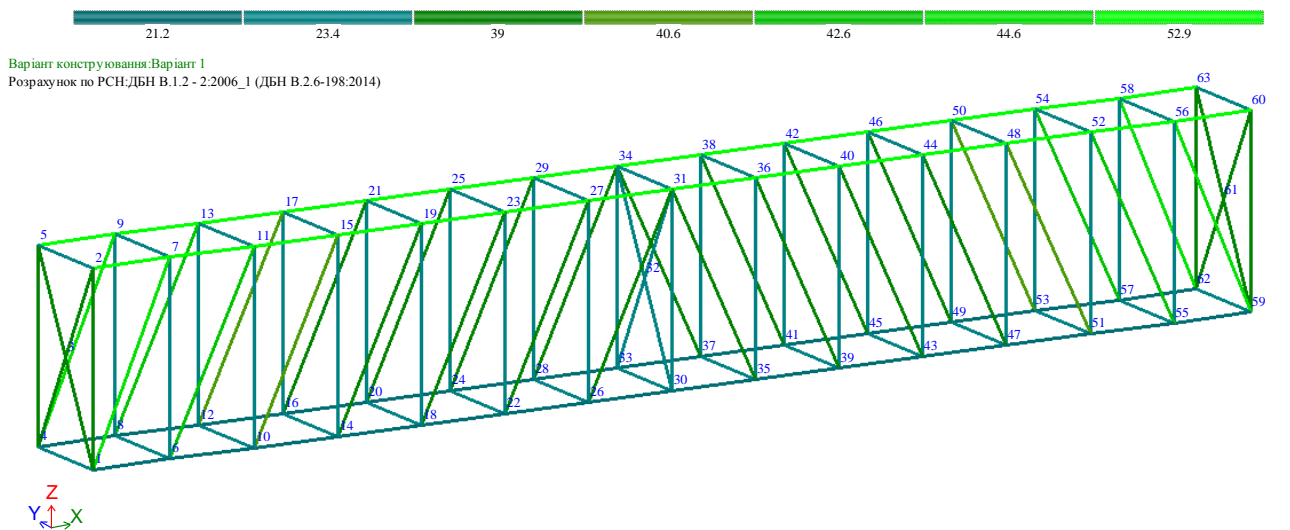


Рисунок В.20 – Мозаїка результатів перевірки за 2 граничним станом

ДОДАТОК Г

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗРАХУНКУ

94 Програмний комплекс АВК _ 5 (3.4.2*) укр. 8_СД_ОС_2-1

Форма №4

ОБ'ЄКТНИЙ КОШТОРИС № 2-1

Дослідження впливу конструктивних параметрів на тримку здатність просторових ферм
на будівництво : Дослідження техніко-економічних показників серій ферм

Кошторисна вартість об'єкта	131,306 тис.грн.
Кошторисна трудомісткість	0,60350 тис.люд.-год.
Кошторисна заробітна плата	33,119 тис.грн.
Вимірник одиничної вартості	м3
Будівельні обсяги	1,000 м3

Додаток Г1 - об'єктний кошторис № 2-1

Складений в поточних цінах станом на 22 травня 2020 р.

№ п/п	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			Кошторисна трудомісткість, тис. люд.-год.	Кошторисна заробітна плата, тис. грн.	Показники одиничної вартості
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	всього			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2-1-1	на виготовлення ферми Серія А (Варіант 2А)	44,444	-	44,444	0,20397	11,193	44,444
2	2-1-2	на виготовлення ферми Серія Б (Варіант 2Б)	43,287	-	43,287	0,19897	10,92	43,287
3	2-1-3	на виготовлення ферми Серія В (Варіант 2В)	43,575	-	43,575	0,20056	11,006	43,575
		Всього:	131,306	-	131,306	0,60350	33,119	131,306

Склав

[підпис, (ініціали, прізвище)]

Свідер В.С.

Перевірив

[підпис, (ініціали, прізвище)]

Сорочак А.П.

Локальний кошторис на будівельні роботи № 2-1-1 з виділенням матеріалів
Дослідження техніко-економічних показників серій ферм
на виготовлення ферми Серія А (Варіант 2А)

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість 44,444 тис. грн.
 Кошторисна трудомісткість 0,20397 тис.люд.-год.
 Кошторисна заробітна плата 11,193 тис. грн.
 Середній розряд робіт 4,0 розряд
 Складений в поточних цінах станом на "22 травня" 2020 р.

Таблиця Г2 - Локальний кошторис на будівельні роботи № 2-1-1

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										тих, що обслуговують машини	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	E9-72-1	-----Даний варіант ферми реалізовуватиметься шляхом зварювання ручною дуговою зваркою----- Виготовлення ґратчастих конструкцій [стояки, опори, ферми та ін.] Серія А У тому числі матеріали:	m	1,248	<u>9662,80</u> 7654,19	<u>1232,05</u> 57,60	12059	9552	<u>1538</u> 72	<u>145.6000</u> 1,0920	<u>181,71</u> 1,36
	C111-1521	Електроди, діаметр 5 мм, марка Э42	m	0,026832	33467,39		898,00				
	C111-1639	Круги армовані абразивні зачисні, діаметр 180х6 мм	шт	0,3744	179,61		67,25				
		Енергоносії машин, врахованих в складі загальнопромислових витрат									
	C1999-9001	Електроенергія	кВт-год	0,843648	2,2929		1,93				
	C1999-9005	Мастильні матеріали	кг	0,027456	71,54		1,96				
		Разом матеріалів					969,14				

Продовження таблиці Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	C111-969 варіант 1	Сортовий гарячекатаний прокат із сталі вуглецевої звичайної якості марки 20, круглий, переріз 50х 6 мм (пояс)	т	0,483	<u>18130,07</u>	-	8757	-	-	-	-
3	C111-969 варіант 2	Сортовий гарячекатаний прокат із сталі вуглецевої звичайної якості марки 20, круглий, переріз 45х 5 мм(решітка)	т	0,804	<u>17727,07</u>	-	14253	-	-	-	-
4	E13-72-1	<i>Нанесення вручну в один шар покриття з антикорозійної полімерної композиції К-9 на горизонтальні і вертикальні поверхні металевих конструкцій У тому числі матеріали:</i>	100м2	0,356	<u>14062,15</u> 636,23	<u>7,71</u> 0,35	5006	226	<u>3</u>	<u>12,3900</u> 0,0066	<u>4,41</u>
	C1113-295	<i>Полімерна композиція К-9 Разом матеріалів</i>	кг	19,4554	245,53		4776,88 4776,88				
		Разом прямі витрати по кошторису					40075	9778	<u>1541</u> 72		<u>186,12</u> 1,36
		Разом будівельні роботи, грн. в тому числі: вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн. всього заробітна плата, грн. Загальновиробничі витрати, грн. трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. Всього будівельні роботи, грн.					40075 28756 9850 4369 16,49 1343 44444				
		----- Всього по кошторису					44444				
		Кошторисна трудомісткість, люд.год.					203,97				
		Кошторисна заробітна плата, грн.					11193				

94 Програмний комплекс АВК_5 (3.4.2*) укр8_СД_ЛС1ВМ_2-1-1

Локальний кошторис на будівельні роботи № 2-1-2 з виділенням матеріалів
Дослідження техніко-економічних показників серій ферм
на виготовлення ферми Серія Б (Варіант 2Б)

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість 43,287 тис. грн.
 Кошторисна трудомісткість 0,19897 тис.люд.-год.
 Кошторисна заробітна плата 10,92 тис. грн.
 Середній розряд робіт 4,0 розряд
 Складений в поточних цінах станом на "22 травня" 2020 р.

Таблиця ГЗ - Локальний кошторис на будівельні роботи № 2-1-1

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
									на одиницю		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	E9-72-1	-----Даний варіант ферми реалізовуватиметься шляхом зварювання ручною дуговою зваркою----- Виготовлення ґратчастих конструкцій [стояки, опори, ферми та ін.] Серія Б У тому числі матеріали:	m	1,218	<u>9662,80</u> 7654,19	<u>1232,05</u> 57,60	11769	9323	<u>1501</u> 70	<u>145,6000</u> 1,0920	<u>177,34</u> 1,33
	C111-1521 C111-1639	Електроди, діаметр 5 мм, марка Э42 Круги армовані абразивні зачисні, діаметр 180х6 мм Енергоносії машин, врахованих в складі загальнопромислових витрат	m шт	0,026187 0,3654	33467,39 179,61		876,41 65,63				
	C1999-9001 C1999-9005	Електроенергія Мастильні матеріали Разом матеріалів	кВт-год кг	0,823368 0,026796	2,2929 71,54		1,89 1,92				945,84

Продовження таблиці ГЗ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	C111-969 варіант 1	Сортовий гарячекатаний прокат із сталі вуглецевої звичайної якості марки 20, круглий, переріз 50х 6 мм (пояс)	т	0,472	18130,07	-	8557	-	-	-	-
3	C111-969 варіант 2	Сортовий гарячекатаний прокат із сталі вуглецевої звичайної якості марки 20, круглий, переріз 45х 5 мм(решітка)	т	0,785	17727,07	-	13916	-	-	-	-
4	E13-72-1	<i>Нанесення вручну в один шар покриття з антикорозійної полімерної композиції К-9 на горизонтальні і вертикальні поверхні металевих конструкцій</i> <i>У тому числі матеріали:</i>	100м2	0,34016	14062,15 636,23	7,71 0,35	4783	216	3	12,3900 0,0066	4,21
	C1113-295	<i>Полімерна композиція К-9</i> <i>Разом матеріалів</i>	кг	18,58974	245,53		4564,34 4564,34				
		Разом прямі витрати по кошторису					39025	9539	1504 70		181,55 1,33
		Разом будівельні роботи, грн. в тому числі: вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн. всього заробітна плата, грн. Загальновиробничі витрати, грн. трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. Всього будівельні роботи, грн.					39025 27982 9609 4262 16,09 1311 43287				
		Всього по кошторису					43287				
		Кошторисна трудоємність, люд.год.					198,97				
		Кошторисна заробітна плата, грн.					10920				

Локальний кошторис на будівельні роботи № 2-1-3 з виділенням матеріалів
Дослідження техніко-економічних показників серій ферм
на виготовлення ферми Серія В (Варіант 2В)

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість 43,575 тис. грн.
 Кошторисна трудомісткість 0,20056 тис.люд.-год.
 Кошторисна заробітна плата 11,006 тис. грн.
 Середній розряд робіт 4,0 розряд
 Складений в поточних цінах станом на "22 травня" 2020 р.

Таблиця Г4 - Локальний кошторис на будівельні роботи № 2-1-3

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										тих, що обслуговують машини	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати	в тому числі заробітної плати	на одиницю	всього		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	E9-72-1	-----Даний варіант ферми реалізовуватиметься шляхом зварювання ручною дуговою зваркою----- Виготовлення ґратчастих конструкцій [стояки, опори, ферми та ін.] Серія Б У тому числі матеріали:	m	1,228	<u>9662,80</u> 7654,19	<u>1232,05</u> 57,60	11866	9399	<u>1513</u> 71	<u>145.6000</u> 1,0920	<u>178,8</u> 1,34
	C111-1521	Електроди, діаметр 5 мм, марка Э42	m	0,026402	33467,39		883,61				
	C111-1639	Круги армовані абразивні зачисні, діаметр 180х6 мм	шт	0,3684	179,61		66,17				
	C1999-9001	Енергоносії машин, врахованих в складі загальнопромислових витрат	кВт-год	0,830128	2,2929		1,90				
	C1999-9005	Мастильні матеріали	кг	0,027016	71,54		1,93				
		Разом матеріалів					953,61				

Продовження таблиці Г4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	C111-969 варіант 1	Сортовий гарячекатаний прокат із сталі вуглецевої звичайної якості марки 20, круглий, переріз 50х 6 мм (пояс)	т	0,476	<u>18130,07</u>	-	8630	-	-	-	-
3	C111-969 варіант 2	Сортовий гарячекатаний прокат із сталі вуглецевої звичайної якості марки 20, круглий, переріз 45х 5 мм(решітка)	т	0,791	<u>17727,07</u>	-	14022	-	-	-	-
4	E13-72-1	<i>Нанесення вручну в один шар покриття з антикорозійної полімерної композиції К-9 на горизонтальні і вертикальні поверхні металевих конструкцій У тому числі матеріали:</i>	100м2	0,33859	<u>14062,15</u> 636,23	<u>7,71</u> 0,35	4761	215	<u>3</u> -	<u>12,3900</u> 0,0066	<u>4,2</u> -
	C1113-295	<i>Полімерна композиція К-9 Разом матеріалів</i>	кг	18,50394	245,53		4543,27 4543,27				
		Разом прями витрати по кошторису					39279	9614	<u>1516</u> 71		<u>183</u> 1,34
		Разом будівельні роботи, грн. в тому числі: вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн. всього заробітна плата, грн. Загальновиробничі витрати, грн. трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. Всього будівельні роботи, грн.					39279 28149 9685 4296 16,22 1321 43575				

		Всього по кошторису					43575				
		Кошторисна трудоємність, люд.год.					200,56				
		Кошторисна заробітна плата, грн.					11006				