

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНИ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

магістр

(рівень вищої освіти)

на тему Оптимізація конструктивного рішення металевих кроквяних ферм
шляхом порівняння альтернативних варіантів

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1923-мбг-дн
спеціальності 192 Будівництво та цивільна
інженерія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Міське будівництво та
господарство

(назва освітньої програми)

Махтут Бадр Еддін

(ініціали та прізвище)

Керівник проф., д.т.н, Банах В.А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

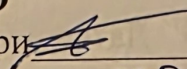
Рецензент доц., к.т.н, Савін В.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код та назва)
Освітня програма Міське будівництво та господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 
« 01 » 10 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Махтуту Бадр Еддіну
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Оптимізація конструктивного рішення металевих
кроквяних ферм шляхом порівняння альтернативних варіантів

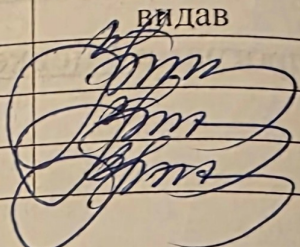
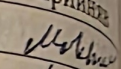
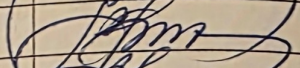
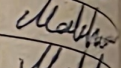
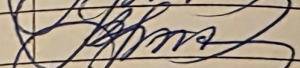
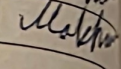
керівник роботи проф., д.т.н, Банах В. А.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 30 » 09 2024 року № 1486-с

- 1 Строк подання студентом роботи 01.02.2025
- 2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень,
значимість у сучасному житті, можливість розвинення проблематики,
перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до
виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень,
передбачувані методи виконання досліджень
- 3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) Літературний огляд. Проведено аналіз розрахунків
автоматизованим та неавтоматизованим методами, аналіз конструктивних та
технологічних особливостей виробництва, заводських обмежень та наявного
сортаменту металопрокату. Дослідити зміну металоємності кроквяних ферм
залежно: - від кроку кроквяних ферм; - від комбінацій навантажень; - від
марок сталей.

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація із результатами аналітичних обґрунтувань наукової роботи, результати експериментальних досліджень, результати розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

5 Консультанти розділів роботи

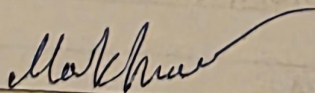
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Банах В. А.		
2	Банах В. А.		
3	Банах В. А.		

6 Дата видачі завдання 01.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прізвище
1	Літературний огляд	01.10	
2	Розділ 1	01.11	
3	Розділ 2	15.11	
4	Розділ 3	01.12	
5	Розробка графічної частини	15.12	
6	Оформлення роботи	15.01	
7	Попередній захист	01.02	

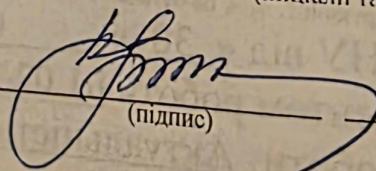
Студент


(підпис)

Махтут Бадр Еддін

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту)

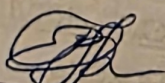

(підпис)

Банах В. А.

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


(підпис)

Гребенюк О.В.

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Махтут Бадр Еддін. Оптимізація конструктивного рішення металевих кроквяних ферм шляхом порівняння альтернативних варіантів.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник В.А. Банах. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2025.

В результаті порівняння кроквяних ферм прольотами 18, 24 та 30 метрів з альтернативними варіантами, такими як фермами з прямокутних та квадратних профілів та з традиційними фермами з парних куточків вийшло, що:

- Кроквяні ферми з одиночних куточків ефективніші за ферми з гнутозварних труб на 6-7%.
- Кроквяні ферми з одиночних куточків ефективніше ферм з парних куточків на 27-37%.

Ключові слова: ФЕРМА, ПРОЛІТ ФЕРМИ, УХИЛ, ПОЯС ФЕРМИ, НАВАНТАЖЕННЯ, ПОКРИТТЯ.

ABSTRACT

Mahtut Badr Eddin. Optimization of the Structural Solution of Metal Rafter Trusses by Comparing Alternative Options.

The paper presents the results of determining the optimal percentage of the additive content that burns out in the production of porous ceramics, as well as the dependence of the change in physical and mechanical properties on the content and composition of the additive.

As a result of comparing trusses with spans of 18, 24 and 30 meters with alternative options, such as trusses made of rectangular and square profiles and with traditional trusses made of even corners, it turned out that:

- Rafter trusses made of single corners are more efficient than trusses made of bent-welded pipes by 6-7%.

- Rafter trusses made of single corners are more efficient than trusses made of even corners by 27-37%.

Keywords: FARMS, FARMS SPAN, SLOPE, FARMS BELT, LOAD, COVERING.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	8
Розділ 1	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	12
1.1	Огляд іноземної та вітчизнної літератури.....	12
1.2	Використання систем автоматизованого проектування в оптимізації конструктивних рішень.....	18
Розділ 2	ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	23
2.1	Сталеві кропильні ферми.....	23
2.2	Компонування конструкції ферми.....	25
2.3	Визначення генеральних розмірів ферм.....	28
2.3.1	Визначення проліту ферм.....	28
2.3.2	Визначення оптимальної висоти ферм.....	28
2.3.3	Визначення висоти ферм з умов жорсткості.....	30
2.3.4	Система решітки ферми.....	30
2.3.5	Панелі ферм.....	31
2.3.6	Будівельний підйом.....	32
2.4	Вибір марок сталів для кропильних ферм.....	32
2.5	Бистальні ферменні конструкції.....	34
2.6	Визначення навантажень на ферми.....	34
Розділ 3	ОПИС ДОСЛІДЖЕННЯ.....	36
3.1	Компонівка конструкції ферм і призначення навантажень.....	36
3.1.1	Визначення оптимальних габаритів і перелік елементів кроквяних ферм.....	36
3.1.2	Вибір марок сталей кроквяних ферм.....	38
3.1.3	Визначення навантажень на кроквяні ферми.....	40
3.2	Розрахунок кроквяних ферм прольотом 18, 24, 30 м з ухилом 1,5% з одиночних куточків автоматизованим методом.....	43
3.2.1	Визначення зусиль у стержнях ферм у ПК ЛІРА.....	43
3.2.2	Результати розрахунків для ферм із сталі однієї марки.....	47

3.2.3	Результати розрахунків для бистальних ферм.....	59
3.3	Дослідження залежностей між габаритами переклав, маркою сталі, пролітом і навантаженням.....	71
3.3.1	Уніфікація розмірів переклав копільних ферм пролітом 18, 24, 30 м з уклоном 1,5% з одинних куточків.....	71
3.3.2	Порівняльний аналіз зміни металоємності кропильних ферм від їх кроку.....	78
3.3.3	Порівняльний аналіз альтернативних варіантів.....	80
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....		84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		86

ВСТУП

Актуальність дослідження. Одним із основних способів оптимізації проектних (конструктивних) рішень є стандартизація та уніфікація елементів конструкцій. Стандартизація та уніфікація елементів конструкцій та проектних рішень істотно впливає на темпи розвитку та рівень виробництва. Сприяє підвищенню операційної швидкості підприємства, внаслідок зниження трудомісткості та вартості проектування загалом. Набір оптимальних стандартних рішень є довідковою базою при попередньому аналізі вартості проекту для замовника, на основі серій формуються інструменти для автоматизації моделювання та отримання креслень. [11] Тому стандартизація та уніфікація завжди актуальні.

Стандартизація (уніфікація) – це діяльність із встановлення норм, правил та характеристик з метою забезпечення впорядкування діяльності у певній галузі за допомогою прийняття оптимальних положень для загального та багаторазового застосування при дотриманні функціональних умов та вимог техніки безпеки. Найважливішими результатами діяльності зі стандартизації є підвищення ступеня відповідності продукції, робіт (процесів) та послуг їх функціональному призначенню, усунення бар'єрів у торгівлі та сприяння науково-технічному та економічному співробітництву. [21]

Уніфікація і модулювання геометричних розмірів у разі ферм дозволяє стандартизувати як самі ферми, так і елементи, що примикають до них (прогони, зв'язки і т. д.). Це призводить до скорочення кількості типорозмірів деталей та дає можливість при масовому виготовленні конструкцій застосовувати спеціалізоване обладнання та перейти на потокове виробництво.

Розробка альбому стандартизованих фермових конструкцій у межах конкретного підприємства відбувається на основі наявного обладнання та виробничих потужностей, внутрішнього сортаменту металопрокату, вимог до транспортування. Враховується статистика щодо найчастіше зустрічаються

конструктивних рішень, таких як прольоти, кроки ферм та умови їх роботи.

В результаті обліку даних вимог звужуються рамки стандартизації, що дозволяє досягти найбільш якісної оптимізації процесу проектування та виробництва.

Нині знайшли широке застосування легкі металеві фермові конструкції. Під легкими або полегшеними фермовими конструкціями маються на увазі несучі елементи покриття - ферми, у яких завдяки раціональній конструктивній формі, оптимальним розмірам перерізів, використанню сталей підвищеної та високої міцності металомісткість суттєво знижена порівняно з традиційними конструкціями (наприклад, фермами зі стрижнями з парних куточків та вузловими).

Отже, легкі металеві конструкції – це конструкції, високоефективні рішення яких забезпечують суттєве зниження металоємності виробів; суттєва типізація та уніфікація; пристосованість їх виготовлення їх на потокових автоматизованих лініях. Наслідком перерахованих особливостей легких металевих конструкцій є добрі техніко-економічні показники.

У наші дні, за загальної комп'ютеризації, доцільно розраховувати конструкції у сучасних програмних комплексах. У цьому дослідженні розрахунки було здійснено з використанням ПК «ЛІРА». Принципи моделювання та розрахунку в даному комплексі наведені в офіційній літературі розробників ПК «ЛІРА» [14] та іншій літературі [15, 16].

Програмний комплекс ЛІРА – це багатофункціональний програмний комплекс для розрахунку, дослідження та проектування конструкцій різного призначення. ПК ЛІРА успішно застосовується у розрахунках об'єктів будівництва, машинобудування, мостобудування, атомної енергетики, нафтовидобувної промисловості та у багатьох інших галузях, де актуальні методи будівельної механіки.

Крім загального розрахунку моделі об'єкта на всі можливі види статичних навантажень, температурних, деформаційних та динамічних впливів (вітер з урахуванням пульсації, сейсмічні дії тощо) ПК ЛІРА

автоматизує ряд процесів проектування: - визначення розрахункових поєднань навантажень та зусиль;

- призначення конструктивних елементів;
- підбір та перевірка перерізів сталевих та залізобетонних конструкцій з формуванням ескізів робочих креслень;
- дозволяє дослідити загальну стійкість моделі, що розраховується, перевірити міцність перерізів елементів за різними теоріями руйнувань.

Конструююча система ЛІР-СТК працює у двох режимах - підбору перерізів елементів сталевих конструкцій та перевірки заданих перерізів відповідно до чинних у світі нормативів. Допускається об'єднання кількох однотипних елементів конструктивний елемент. Система ЛІР-КМ, що конструює, дозволяє отримати повний набір робочих креслень, що включає маркувальні схеми, специфікації, креслення вузлів, пояснювальні записки.[14]

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження у магістерській роботі є розробка стандартних конструкцій кроквяних ферм покриття з ухилом 1,5% для прольотів 18, 24 та 30 метрів для різних комбінацій навантажень.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено такі завдання:

1. Аналіз конструктивних та технологічних особливостей виробництва, заводських обмежень та наявного сортаменту металопродукату.
2. Переріз елементів ферм виконати з одиночних куточків, домагаючись безфасоночного сполучення стрижнів ферм.
3. Дослідити зміну металоємності кроквяних ферм залежно: - від кроку кроквяних ферм; - від комбінацій навантажень; - від марок сталей.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є кроквяні ферм з прольотами 18, 24 та 30 метрів для різних комбінацій навантажень.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є зміни металомісткості кроквяних ферм.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувалися узагальнення, аналіз теоретичних та практичних досліджень на тему роботи та комплексні дослідження кроквяних ферм

прольотами 18, 24 та 30 метрів для різних комбінацій навантажень.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна дослідження полягає в аналізі комбінації навантажень з урахуванням діапазонів снігових районів, а також постійного навантаження від власної ваги покрівлі та технологічного навантаження.

Практичне значення одержаних результатів. Практична значущість дослідження полягає в тому, що загальна металомісткість конструкцій покриття будівлі знизилася при кроці 4 м на 35÷40% на відміну від металоємності при кроці кроквяних ферм 6 м.

Особистий вклад дослідника. Особиста участь автора в організації та проведенні дослідження полягає у перегляді доступної літератури, публікацій, що до теми роботи, створення розрахункової моделі для обчислень, пов'язаних із визначенням загальної міцності і стійкості, проведення аналізу отриманих під час розрахунку результатів.

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел, містить 91 сторінки, 45 рисунків, 21 таблиць, 55 список використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд іноземної та вітчизнної літератури

Зазвичай уніфікація об'єктів має на меті поліпшення техніко-економічних показників виробництва та експлуатації виробів. Використання типових та уніфікованих проектних рішень призводить також до спрощення та прискорення проектування: так типові елементи розробляються одноразово, але у різних проектах застосовуються багаторазово.

Типове проектне рішення - це існуюче проектне рішення, яке використовується під час проектування.

Уніфікована проектна процедура - це проектна процедура, алгоритм якої залишається незмінним для різних об'єктів проектування або різних стадій проектування одного й того самого об'єкта.

Однак уніфікація доцільна тільки в таких класах об'єктів, в яких порівняно невелика кількість різновидів елементів має проектувати і виготовляти велику кількість різноманітних систем. Саме ці різновиди елементів підлягають уніфікації. Для складних систем, які з цих елементів, у кожному даному випадку доводиться заново виконувати багаторівневі ієрархічне проектування. У цих умовах доцільно ставити питання не про уніфікацію виробів, а про уніфікацію засобів їх проектування та виготовлення, зокрема про уніфікацію проектних процедур у рамках САПР.

Уніфікація передбачає вибір раціональних градацій геометричних розмірів та інших параметрів об'єктів, що уніфікуються на основі Єдиної модульної системи, рядів кращих чисел і т.д. Метою уніфікації є пошук щодо кращого рішення та зменшення кількості типорозмірів будівельних виробів, що є необхідною умовою розвитку спеціалізації виробництва, комплексної механізації та автоматизації. Уніфікація - безперервний процес, що супроводжує розвиток будівельної техніки, типів будівель та споруд.

Здійснення уніфікації будівель та споруд, їх конструкцій, елементів та деталей потребує всебічного аналізу та порівняння низки можливих варіантів. При цьому особливе значення має економічний аналіз, оскільки уніфікація в окремих випадках може спричинити втрати матеріалу, але одночасно зменшити собівартість заводського виготовлення та монтажу уніфікованих елементів за рахунок зменшення кількості типорозмірів виробів. Залежно від обґрунтованості та передбачуваної довготривалості застосування уніфікованих рішень результати їх доводяться до стадії розробки та затвердження типу (типовий проект, типовий виріб – серія).

Основні об'єкти уніфікації - елементи будівель або споруд, їх параметри, а також будівельні вироби, які є безпосередньою продукцією, яку виробляють підприємства будівельної промисловості. Поряд з галузевою уніфікацією параметрів та елементів промислових будівель (за окремими галузями промисловості та транспорту) або видовою уніфікацією елементів житлових будинків, шкіл, лікарень та інших громадських будівель здійснюється в доцільних межах міжвидова та міжгалузева уніфікація. При цьому можуть бути досягнуті: загальна уніфікація елементів та будівельних виробів для окремих груп будівель або споруд, близьких за об'ємно-планувальними параметрами, розрахунковими навантаженнями та іншими характеристиками; часткова уніфікація елементів, конструкцій, виробів для різних груп будівель чи споруд.

У всіх випадках слід прагнути до більшої універсальності елементів і будівельних виробів, тобто. застосовність їх для різних об'єктів і конструктивних схем, а також до взаємозамінності (можливості заміни одного елемента іншими або поєднанням декількох елементів без зміни інших конструктивних частин). Взаємозамінними повинні бути, наприклад, панелі зовнішніх стін будівель, однакові за розмірами, теплотехнічними та іншими якостями, але виконані з різних матеріалів; плити перекриттів, розраховані на одне навантаження та проліт, але мають різний переріз, а також призначені для монтажу кранами різної вантажопідйомності.

Основою для уніфікації елементів будівель і будівельних виробів є уніфікація об'ємно-планувальних параметрів — висот поверхів, поздовжніх та поперечних кроків (прольотів), розрахункових навантажень на несучі конструкції, теплотехнічних та акустичних параметрів огорож, що визначають їх геометричні розміри та основні властивості.

Уніфіковані об'ємно-планувальні параметри повинні забезпечувати необхідні розміри приміщень з урахуванням допустимих відхилень лінійних розмірів зазвичай у межах $\pm 5\%$.

Уніфікація розрахункових навантажень, що проводилася в окремих галузях будівництва, відображена в каталогах виробів, що діють.

До інших необхідних умов належать вибір та уніфікації конструктивної системи будівель, конструкцій та перерізів елементів, розробка уніфікованих типів конструктивних вузлів та стиків, дотримання встановленого порядку призначення конструктивних розмірів виробів з урахуванням швів та зазорів, що відповідають прийнятим допускам. Комплексне вирішення питань уніфікації будівельних виробів нерідко здійснюється безпосередньо у процесі розробки нових серій або навіть окремих типових проектів, але при цьому можливе збереження випадкових особливостей, що порушують загальну систему уніфікації. Уніфікація параметрів та конструктивних елементів забезпечує можливість розробки каталогів виробів для окремих галузей будівництва, а також загального сортаменту стандартних виробів для будівель та споруд різного призначення.

Найбільш широко відомий приклад стандартизації ферменних конструкцій - серія «Сталеві конструкції покриттів виробничих будівель із замкнутих гнутосварних профілів прямокутного перерізу прольотом 18, 24 та 30 м з ухилом 10%», . Характерними її особливостями, важливими є такі параметри: в серії представлені ферми безстосєчні прольотом 18, 24 і 30 метрів. Крок прогонів – 3 метри. Ферми мають висоту у колони 1200 мм, а максимальна висота 12 метрової секції дорівнює 2400 мм без урахування виступаючих елементів, з'єднання по верхньому і нижньому поясі - фланцеві.

У серії використані прямокутні перерізи 180x140 мм для верхнього пояса та 140x140 мм – для нижнього.

Ще один поширений вид ферменних конструкцій - Серія 1.460.3-17 - випуск 1 «Сталеві конструкції покриттів одноповерхових виробничих будівель із застосуванням круглих труб - покриття прольотами 18, 24, 30 м для будівель, що зводяться в несейсмічних районах з вище розрахунковими температурами мінус 30°C. Крок кроквяних ферм передбачений 6 та 12м. Ухил покрівлі 0,015 забезпечується за рахунок облаштування опорних столиків змінної висоти для спирання прогонів. Висота ферм по осях поясів складає 2900 мм. Ферми прольотом 18 м запроектовані у двох варіантах: з одного або двох відправних елементів; ферми прольотами 24 та 30 м - у вигляді двох відправних елементів. Перетину верхнього та нижнього пояса при прольоті 30 м (навантаження 34,6 кН/м) – 273x8 мм.

Наявність уніфікованого загального сортаменту стандартних виробів та обладнання для їх виготовлення створює необхідні передумови для покращення умов роботи промисловості, здійснення спеціалізації технологічних ліній, автоматизації та комплексної механізації процесів. У той же час, сортамент, що включає необхідний набір строго координованих за розмірами виробів, дозволить вільніше вводити нові типи та варіанти планувальних схем будівель, варіювати композицію об'ємів і фасадів, домагаючись кращих функціональних якостей будівель.

Легкі металеві конструкції рекомендуються для застосування з відповідним техніко-економічним обґрунтуванням при проектуванні та будівництві опалюваних будівель підприємств машинобудування, приладобудування, легкої, харчової, м'ясо-молочної, радіоелектронної, деревообробної промисловості, сільськогосподарських будівель, будівель технічного обслуговування автотранспорту та сільськогосподарських машин, будівель компресорних, виробничо-опалювальних котелень, інших будівель різного призначення: фізкультурно-оздоровчих комплексів, підприємств громадського харчування швидкого обслуговування, виставкових та ринкових

павільйонів, кафе та ін.

Технічні можливості легких металевих конструкцій дозволяють використовувати їх практично у всіх кліматичних зонах країни, включаючи важкодоступні райони.

В основу формування будівель, що проектуються з легких металевих конструкцій, покладено габаритні та конструктивні схеми будівель, розроблені рядом провідних науково-дослідних та проектних інститутів.

Параметри будівель (розміри прольотів, крок колон, висот, вантажопідйомність підвісних і опорних мостових кранів) та їх поєднання, прийняті в уніфікованих габаритних схемах, обрані з числа найбільш часто повторюваних у будівництві та відповідають умовам виготовлення конструктивних елементів на поточних технологічних лініях. типу конструкції слід керуватися не тільки економією металу та зменшенням трудовитрат на виготовлення та монтаж, але й проводити оцінку наведених витрат на будівлю загалом з урахуванням витрат на стіни, на відшкодування втрат тепла та вентиляцію. Для аналізу рекомендується використовувати цільову функцію загальної вартості всіх елементів.

Аналіз техніко-економічних показників виробничих будівель з легких металевих конструкцій та будівель із традиційним залізобетонним каркасом з урахуванням наведених витрат показує, що витрата сталі в будівлі з цих конструкцій, наведена до сталі Ст3, у 1,7-2,4 рази вища, ніж для варіанта із залізобетону. У той же час, трудомісткість виготовлення та монтажу будівель з легких металевих конструкцій на 20-30% менше. При цьому витрати на виготовлення конструкцій у 2-3 рази нижчі, завдяки високому рівню механізації та автоматизації виробництва. Тривалість монтажу будівель з легких металевих внаслідок великих можливостей суміщення робіт на 25-40% менше, ніж при збірному залізобетоні. Маса будівлі з легких металевих конструкцій у 3-5 разів менша за масу будівлі зі збірного залізобетону.

Полегшення конструкцій, зниження маси металу досягаються такими прийомами:

1. Використання сталей підвищеної та високої міцності (забезпечує до 60^70% загальної економії металу) впливає на конструктивну форму та методи виготовлення конструкцій. Потрібно шукати такі форми, при яких ефект від застосування сталей підвищеної та високої міцності буде найбільшим.

2. Застосування найефективніших видів прокату та гнutoзварних профілів з максимальною тонкостінністю (наприклад, ферми з одиночних куточків).

3. Оптимізація основних параметрів конструкції та її детальних елементів, розмірів перерізів на базі сучасних математичних методів та програмних комплексів (наприклад, ПК ЛІРА).

4. Концентрація матеріалу як в основних несучих системах, так і в окремих її елементах концентрація матеріалу дозволяє знижувати не тільки витрата сталі за рахунок раціональнішого забезпечення стійкості, жорсткості, витривалості та інших властивостей конструкції, зменшення конструктивних коефіцієнтів, але також трудомісткість виготовлення та монтажу)

5. Поєднання функцій несучих та огорожувальних конструкцій в одній системі (дозволяє зменшити її загальну металомісткість).

6. Максимальна типізація, уніфікація та стандартизація конструкцій загалом (важлива передумова підвищення індустріалізації металевих конструкцій).

7. Регулювання напруг, зокрема попередньою напругою. Не всі методи попередньої напруги зручні при поточному виготовленні конструкцій. Дуже технологічні натяги тонких листів з метою запобігання втраті місцевої стійкості та підвищення області пружної роботи, а також натяг високоміцної зтяжки в межах відправної марки, регулювання рівня опор у нерозрізних системах та ін.

8. При виборі розмірів конструкцій, технологічних прийомів виготовлення та монтажу слід дбати не лише про економію металу та зменшення трудовитрат на виготовлення конструкцій, а й енергії як у процесі будівництва, так і в експлуатації.

9. Необхідно зупинитися і на взаємозв'язку рішень несучих конструкцій, що захищають. Огороджувальні конструкції повинні брати на себе функції таких елементів, як зв'язки прогони та ін. Це дозволить позбутися другорядних елементів, питома трудомісткість монтажу яких незрівнянно вища, ніж основні несучі конструкції.

Можливості для вдосконалення існуючих легких металевих конструкцій, а тим більше створення нових не обмежені. [13]

1.2 Використання систем автоматизованого проектування в оптимізації конструктивних рішень

Як відомо підвищення якості та скорочення термінів проектування є одним із найважливіших факторів прискорення науково-технічного прогресу. Перешкодою до підвищення якості і збереження термінів розробки проектів є зростаюча невідповідність між згуртованістю об'єктів будівництва, що збільшується, з одного боку сформованими методами і засобами їх проектування - з іншого. Ця проблема не може бути вирішена за рахунок простого збільшення кількості проектних організацій та проектувальників різних спеціальностей. Тому в сучасних умовах підвищення якості та скорочення термінів проектування може бути забезпечене на основі ЕОМ та інших технічних засобів архітектурного проектування у проектних організаціях.

Термін САПР "Система автоматичного проектування" (в англійській нотації CAD) з'явився наприкінці 50-х років. Перші CAD - системи з'явилися через десять років. Проектування - це процес створення опису, необхідного для побудови в заданих умовах ще існуючого об'єкта.

Виділимо 3 основні способи реалізації проектування:

1. Якщо процес проектування здійснюється людиною, то проектування називають неавтоматизованим.

2. Проектування, у якому відбувається взаємодія людини та ЕОМ

називається автоматизованим.

3. Проектування, у якому все перетворення описів об'єкта та алгоритму його функціонування здійснюється без участі людини, називається автоматичним.

Сукупність проектних документів відповідно до встановленого переліку, в якому представлений результат проектування, називається проектом.

Система автоматизованого проектування (САПР) – організаційно-технічна система, що складається з комплексу засобів автоматизації проектування, взаємопов'язаного з необхідними підрозділами проектної організації або колективом фахівців (користувачів системи) та виконує автоматизоване проектування.

Під автоматизацією проектування розуміють систематичне застосування ЕОМ у процесі проектування при науково обґрунтованому розподілі функцій між проектувальником та ЕОМ та науково обґрунтованому виборі методів машинного вирішення завдань.

Мета автоматизації:

- 1) підвищити якість проектування;
- 2) знизити матеріальні витрати на нього;
- 3) скоротити терміни проектування;
- 4) ліквідувати зростання кількості інженерно-технічних працівників, зайнятих проектуванням та конструюванням.

Науково обґрунтований розподіл функцій між людиною та ЕОМ має на увазі, що людина повинна вирішувати задачі, що носять творчий характер, а ЕОМ — завдання, вирішення яких піддається алгоритмізації.

Істотною відмінністю автоматизованого проектування від неавтоматизованого є можливість заміни дорогого фізичного моделювання, що займає багато часу, — математичним моделюванням.

Для створення САПР необхідно:

- 1) удосконалювати проектування на основі застосування математичних

методів та засобів обчислювальної техніки;

- 2) автоматизувати процеси пошуку, обробки та видачі інформації;
- 3) створювати банки даних, які містять систематизовані відомості довідкового характеру, необхідні автоматизованого проектування об'єктів;
- 4) підвищувати якість оформлення проектної документації;
- 5) підвищувати творчу частку праці проектувальників з допомогою автоматизації нетворчих робіт;
- 6) готувати та перепідготовляти фахівців;
- 7) реалізовувати взаємодію з автоматизованими системами різного рівня та призначення.

Комплекс засобів автоматизації проектування включає методичне, лінгвістичне, математичне, програмне, технічне, інформаційне та організаційне забезпечення. Структурними складовими складовими САПР є підсистеми, що мають всі властивості систем і створювані як самостійні системи. Це виділені за деякими ознаками частини САПР, що забезпечують виконання деяких закінчених проектних завдань із отриманням відповідних проектних рішень та проектних документів.

За призначенням підсистеми САПР поділяють на два види: проектують та обслуговуючі.

До проектувальників належать підсистеми, що виконують проектні процедури та операції, наприклад:

- підсистема проектування деталей;
- підсистема проектування схеми керування.

До обслуговуючих відносяться підсистеми, призначені для підтримки працездатності проектувальних підсистем, наприклад:

- підсистема графічного відображення об'єктів проектування;
- Підсистема документування; - підсистема інформаційного пошуку та ін.

Як і інші типи автоматизованих систем, САПР є системою, що

розвивається. Технічний прогрес у відповідній галузі має супроводжуватися безперервним оновленням у САПР математичних моделей, нормативів, даних про матеріали комплектуючих виробів.

Створення та розвиток САПР ведеться чергами. Кожна із черг САПР є розширенням попередньої, що досягається шляхом впровадження нових підсистем та компонентів САПР.

САПР створюється та функціонує в проектній організації як самостійна система. Вона може бути пов'язана з підсистемами та банками даних інших автоматизованих систем. Системи автоматизованого проектування мають свої специфічні особливості, принципи створення та розвитку.

Перш ніж розпочати проектування, необхідно отримати інженерні навички. Існує кілька програм, що дозволяють вирішувати інженерні завдання. Серед них, перш за все, потрібно виділити «класика» - AutoCAD від Autodesk. Ця програма настільки популярна та відома, що навіть ті, кому вона не потрібна за родом їхньої діяльності, знають про неї. AutoCAD є найбільш поширеною програмою для автоматизації проектних робіт, що застосовується для 3D моделювання, архітектурного проектування та підготовки робочої документації. Завдяки використанню програми мільйонами фахівців усього світу формат DWG, рідний для AutoCAD, став стандартом для обміну документацією. Обмін документацією в даному форматі проводиться між фахівцями різних галузей, незалежно від систем автоматизованого проектування, що використовуються ними.

Програмний комплекс ЛПРА (ПК ЛПРА) – це багатофункціональний програмний комплекс для розрахунку, моделювання роботи, дослідження та проектування будівельних конструкцій різного призначення.

ПК ЛПРА успішно застосовується у розрахунках об'єктів будівництва, машинобудування, мостобудування, атомної енергетики, нафтовидобувної промисловості та у багатьох інших галузях, де актуальні методи будівельної механіки.

У ПК ЛПРА включено велику кількість типів кінцевих елементів:

стрижні, чотирикутні та трикутні елементи мембрани, плити та оболонки на пружній основі; просторові елементи та ін.

Розрахунок виконується на статичні, динамічні та температурні навантаження. Статичні навантаження моделюють силові дії від зосереджених чи розподілених сил чи моментів, температурного нагріву та переміщень окремих областей конструкції. Динамічні навантаження моделюють дії від землетрусу, пульсуючого потоку вітру, вібраційні чи ударні дії від технологічного обладнання, ударні дії. ПК ЛПА автоматизує ряд процесів проектування: визначення розрахункових поєднань навантажень та зусиль, підбір та перевірка перерізів сталевих та залізобетонних конструкцій з формуванням ескізів робочих креслень конструктивних елементів.

ПК ЛПА дозволяє дослідити загальну стійкість моделі, що розраховується, перевірити міцність перерізів елементів.

ПК ЛПА надає можливість проводити розрахунки об'єктів з урахуванням фізичної та геометричної нелінійностей, моделювати процес зведення споруди з урахуванням монтажу та демонтажу елементів.

Розвинені системи документування дозволяють оформлювати звіти за результатами роботи у вигляді, що відповідає вимогам користувача: призначити необхідні види таблиць, монтувати текстову інформацію спільно з графічною, отримувати тверді копії на будь-яких вивідних пристроях.

ПК ЛПА підтримує інформаційний зв'язок з іншими широко поширеними CAD-системами, такими як AutoCAD та ArchiCAD.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Сталеві кропільні ферми

Фермою називається система стрижнів з'єднаних між собою у вузлах і утворюють геометрично незмінну конструкцію. При вузловому навантаженні жорсткість вузлів несуттєво впливає роботу конструкції, й у більшості випадків їх можна як шарнірні. У цьому випадку всі стрижні ферм відчують тільки осьові зусилля, що розтягують або стискають.

Ферми бувають плоскими (всі стрижні лежать в одній площині) та просторовими. Плоскі ферми сприймають навантаження, прикладене тільки в їх площині, і потребують закріплення їх зв'язками. Просторові ферми утворюють жорсткий просторовий брус, що сприймає навантаження у будь-якому напрямку.

Сталеві кроквяні ферми застосовуються для спорудження покриттів промислових чи цивільних будівель.

Кроквяні ферми розрізняють за контуром поясів і за виглядом решітки. По контуру поясів ферми бувають: з паралельними поясами; односхилі (трапецеїдальні); полігональні та трикутні (рис. 2.1, а-д).

Вибір типу ферми залежить від призначення будівлі, профілю покрівлі та системи водовідведення, матеріалу покриття та економічних факторів. У промисловому будівництві найбільше застосування мають уніфіковані типові ферми полігональні, односхилі, двосхилі та з паралельними поясами (рис. 2.1, е-м).

Грати у фермах бувають розкосними, коли вони утворюються безперервним чергуванням розкосу і стійок (рис. 2.1, б). І трикутної, в якій зигзаг грат утворюється з одних розкосів, а стійки є додатковими елементами (рис. 2.1, а). На практиці частіше застосовують трикутні грати. Загальна довжина її елементів менша, ніж у розкосної.

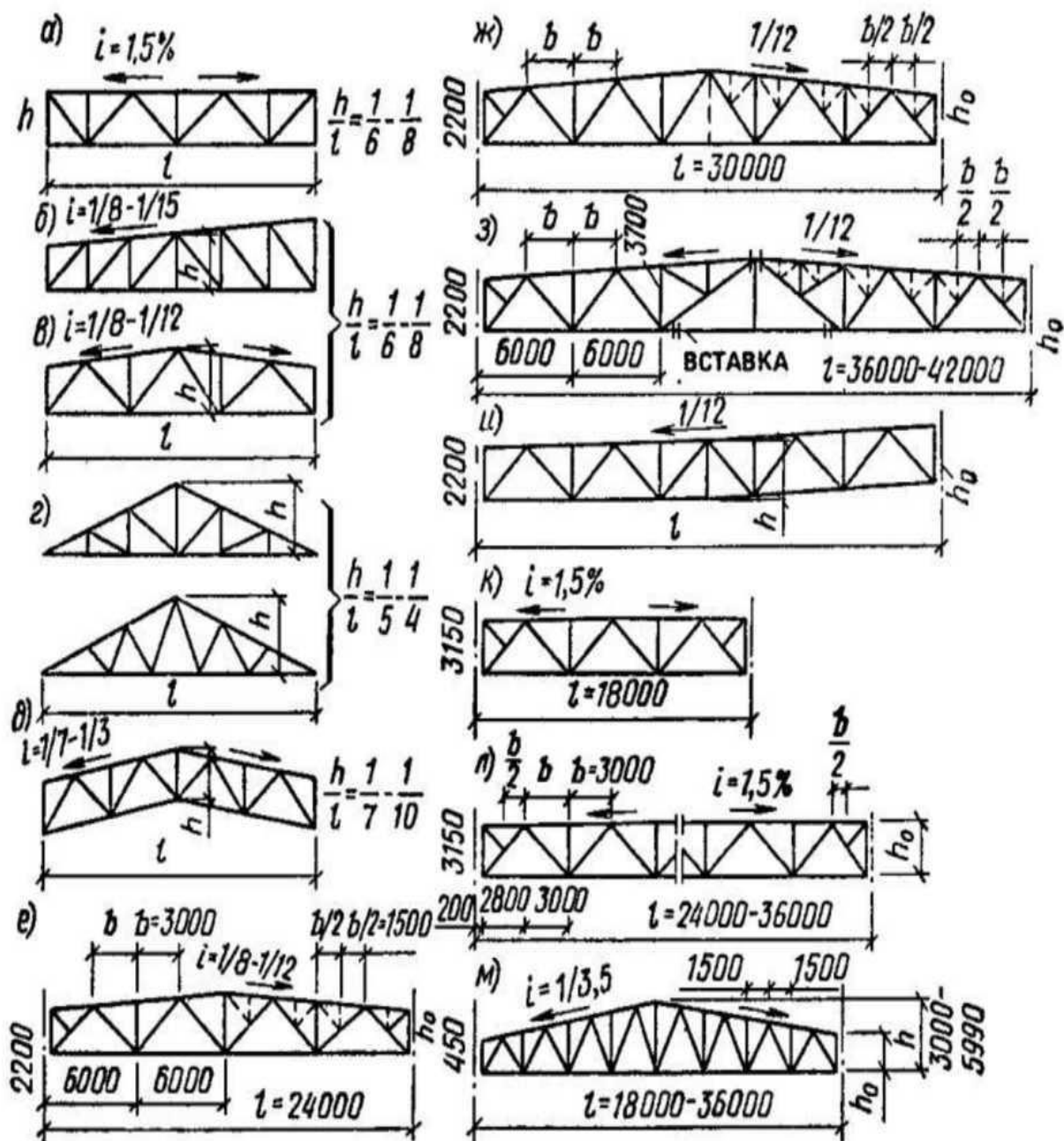


Рисунок 2.1 - а-д - типи ферм з контуру поясів; е-з – полігональні; і - односхилий; к, л - з паралельними поясами для плоских покриттів; м-двосхилий.

При проектуванні ферм проліт зазвичай вказують у технічному завданні. Попередньо призначають висоту ферм, розмір та число панелей. Нахил розкосів ґрат в межах 35-50 градусів. Середня 45 градусів.

Вибір типу перерізу стрижнів ферм визначається переважно призначенням і конструкцією ферми. При виборі типу перерізів стрижнів ферми враховують

призначення та умови роботи конструкції ферми, технологію виготовлення та монтажу, наявність сортаменту металопродукату, економічну ефективність витрат металу та загальної вартості виробу.

2.2 Компонування конструкції ферми

Сталеві ферми широко застосовуються в покриттях промислових та цивільних будівель, ангарів, вокзалів і т. п. Великопрогонові мости, радіовежі та щогли, опори ліній електропередачі та багато інших конструкцій виконуються у вигляді сталевих ферм.

Ферми, порівняно з суцільними балками, економічні за витратами металу, їм легко надають будь-які обриси, потрібні умовами технології, роботи під навантаженням або архітектури, вони відносно прості у виготовленні.

Вибір контуру ферм є першим етапом їх проектування. Обрис ферм насамперед залежить від призначення споруди. Воно повинне відповідати прийнятій конструкції сполучення з прилеглими елементами. Так, обрис кроквяної ферми виробничої будівлі залежить від призначення цеху, типу покрівлі, типу та розміру ліхтаря, від типу з'єднання ферм з колонами (шарнірне або жорстке) тощо.

Разом з тим, обрис ферм повинен відповідати їх статичній схемі, а також виду навантажень, що визначає епюру згинальних моментів. Наприклад, виступаючі консолі раціонально проектувати трикутними, з одним схилом; однопрогонові ферми з рівномірним навантаженням - полігонального контуру. [12]

Традиційні ферми зі стрижнями з парних куточків та вузловими фасонками панували у будівництві тривалий період, причому заміна заклепок зварюванням не змінила конструкцію ферм.

Прагнення знизити витрату металу та використовувати технологію потокового виготовлення при високому рівні механізації та автоматизації призвело до створення ферм нового типу. Тут йдеться про ферми з поясами з

відкритих профілів – одиночних куточків, таврів, двотаврів. Для таких ферм характерна або повна відсутність фасонки та безпосереднє сполучення стрижнів, або різке скорочення числа фасонки та їх габаритів. Саме безфасоночні ферми є найбільш характерними зварними конструкціями, оскільки тільки зварювання дозволяє здійснювати сполучення елементів без додаткових деталей.

Стрижень із двох куточків замінюється з одного профілю. У деяких типах ферм починають застосовуватися механізовані види зварювання, електрозаклепки замість напівавтоматичного зварювання. Все це забезпечує економію металу до 8...12% і суттєво знижує трудомісткість виготовлення, збільшує корозійну стійкість, полегшує експлуатацію конструкцій.

Фермами з одиночних куточків названі ферми, в яких усі елементи поясів та решітки утворені з одиночних куточків, розташованих однією полицею у площині ферми, а інший – з її площини.

Одними з відомих сучасних типових ферм – це ферми з паралельними поясами та ухилом верхнього пояса до 1,5%, який забезпечується за рахунок будівельного підйому; такі ухили цілком достатні для стоку води по покрівлях з рулонних та мастичних матеріалів. Ці фермові конструкції найменш трудомісткі у виготовленні завдяки уніфікації елементів решітки та вузлових сполучень.

Ферми прольотом 18 м поставляються на монтаж цілком, при прольотах 24 і 30 метрів - у вигляді двох марок відправки 12 або 15 метрів відповідно.

У фермах з поясами одиночних куточків елементи решітки проектується також з одиночних куточків. Найбільш зручною є ферма з паралельними поясами, низхідними розкосами та стійками (рис. 2.2). У вузлах елементи решітки кріпляться до поясів за допомогою кутових швів (при необхідності з пристиковкою фасонки до перу поясного куточка), міцних болтів або електрозаклепок, утворених точковим електрозварюванням (рис. 2.3).

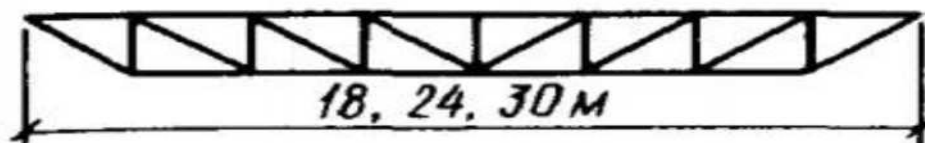


Рисунок 2.2 - Схема кроквяної ферми з одиночних куточків

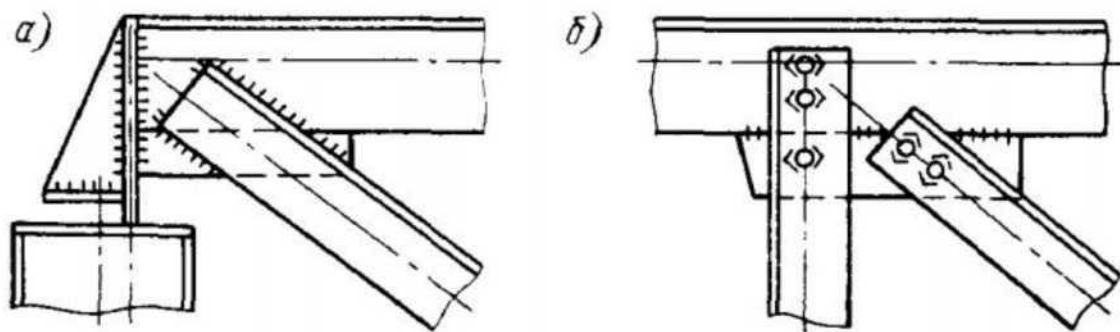


Рисунок 2.3 - Вузли ферми з одиночних куточків

а - зі зварними швами; б - зі зварними точками (контактне зварювання)

Недоліком цих конструкцій є те, що стиснуті стрижні, прикріплені тільки по кінцях, доводиться перевіряти на стійкість щодо осі найменшої жорсткості та приймати мінімальний радіус інерції. Має місце вигин із площини стрижня внаслідок позацентровості кріплення, що призводить до деякого підвищення витрати металу на стрижні. Відстань між центрами ваги куточків верхнього пояса та опорного розкосу не повинна перевищувати товщини полиці найбільш товстого із застосованих куточків. У вузлах ферми розкоси кріпляться до внутрішніх площин полиць поясних куточків.

Ферми з одиночних куточків особливо ефективні при безпрогінних схемах компонування з кроком ферм 4 м. Профільований настил спирається безпосередньо на пояси ферм. Він забезпечує горизонтальну жорсткість блоку у площині верхніх поясів та виключає зайві елементи зв'язків. У той же час, зменшення кроку ферм з 6 до 4 метрів знижує навантаження на ферму і дозволяє запроектувати стрижні з одиночних куточків. Принцип концентрації матеріалу при такому компонуванні знаходить своє вираження в тому, що метал концентрується тільки в кроквяних фермах, необхідність прогонів і частини зв'язків взагалі відпадає. [13]

2.3 Визначення генеральних розмірів ферм

2.3.1 Визначення проліту ферм

Проліт або довжина ферм у більшості випадків визначаються експлуатаційними вимогами та загальнокомпонувальним рішенням споруди та не можуть бути рекомендовані на розсуд конструктора.

Прольоти кроквяних ферм, мостових кранів, гідротехнічних затворів тощо. п. визначаються технологічною чи архітектурною схемою споруди та уточнюються залежно від типу сполучення із сусідніми елементами.

Так, при вільному опиранні ферм покриттів на опори (колони) зверху розрахунковий проліт ферми l (відстань між осями опорних частин) як перший наближення може бути прийнятий рівним:

- для розрізних ферм - відстань між внутрішніми чвертями ширини опор, т.е. е.

$$l_0 = l + a/2, \quad (2.1)$$

де l - Відстань у світлі між опорами; a - ширина опори.

При примиканні ферм до металевих колон збоку розрахунковий проліт ферми приймається рівною відстані між колонами у світлі на позначці примикання ферм.

У випадках, коли проліт конструкції не диктується технологічними вимогами (наприклад, естакади, що підтримують трубопроводи тощо), він повинен призначатися на основі економічних міркувань для того, щоб сумарна вартість ферм та опор була найменшою.

2.3.2 Визначення оптимальної висоти ферм

Якщо немає конструктивних обмежень, висота ферм може бути прийнята з

найменшої ваги ферми, т.е. е. з економічних міркувань. Вага ферми складається з ваги поясів і решітки. Вага поясів зменшується зі збільшенням висоти ферми, оскільки зусилля в поясах обернено пропорційно висоті $N_n = M/h$.

Вага грат, навпаки, зі збільшенням висоти ферми збільшується, оскільки збільшується довжина розкосів та стійок. Отже, може бути знайдена оптимальна висота ферми, при якій загальна вага поясів та решітки буде найменшою. Вага поясів може бути виражена формулою

$$G_n = 2 \sum \frac{N_n l_n}{R} \gamma \psi_n = 2 \sum \frac{N_n l_n}{R} \gamma \psi_n \quad (2.2)$$

де $N_n = M/h$ — розрахункове зусилля в поясі; $\frac{N_n}{R}$ — потрібна теоретична площа перерізу стрижня; R — розрахунковий опір розтягуванню, стиску; l_n — довжина стрижня пояса, що дорівнює довжині панелі; γ — середня щільність сталі; ψ_n — конструктивний коефіцієнт ваги поясів.

Аналогічно може бути виражена вага розкосів решітки

$$G_p = \sum \frac{N_p}{R} l_p \gamma \psi_p = \sum \frac{Q}{\cos \alpha R} l_p \gamma \psi_p = \sum \frac{Q}{\cos^2 \alpha R} l_p \gamma \psi_p \quad (2.3)$$

де $N_p = \frac{Q}{\cos \alpha R}$ — розрахункове зусилля у розкосі; $l_p = h \cos \alpha$ — довжина розкосу; α — кут нахилу розкосу до вертикалі; ψ_p — конструктивний коефіцієнт ваги розкосів.

Таким чином, найвигідніше відношення висоти ферми до її прольоту залежить від кількості панелей і зменшується за його збільшення. При розкосній решітці зі стійками оптимальне за вагою співвідношення дорівнюватиме:

$$\frac{h_{\text{опт}}}{l} = \left(\frac{1}{n} \right) \sqrt{0,7n + 1/3} \quad (2.4)$$

Таким чином, оптимальна висота ферм за вагою значною мірою залежить від решітки; при розкосній решітці вона приблизно на 40% менше, ніж при

трикутній решітці без стійок, і на 20% менше оптимальної висоти ферм із трикутною решіткою з додатковими стійками.

Зазвичай для ферм з паралельними поясами висоту приймають трохи менше, ніж слід за формулою (2.4), т.е. е. $(1/7 \div 1/9)$ прольоту, причому для легких ферм набувають менших значень. Відхилення від оптимальної висоти викликається вимогами транспортування, монтажу, уніфікації, доцільністю зменшення обсягу будівлі та іншими міркуваннями.

2.3.3 Визначення висоти ферм з умов жорсткості

Найменша можлива висота ферми визначається допустимим прогином. У звичайних покрівельних покриттях твердість ферм значно перевищує вимоги, що висуваються умовами експлуатації.

За формулою Мора можна отримати для ферм з паралельними поясами при середньому значенні аргументів формулу відношення найменшої висоти до прольоту, аналогічну відповідній формулі для суцільних балок функції граничного відносного прогину ферми:

$$\frac{h_{min}}{l} = \frac{6,5}{24} \left[\frac{l}{f} \right] \frac{\sigma}{E} \left(1 + 2 \frac{h}{l} \right) \quad (2.5)$$

в якій другий член у дужках виражає вплив решітки.

Тут $\left[\frac{l}{f} \right]$ — предельное отношение прогиба ферм к пролету;

σ — максимальна напруга в поясі від навантаження, що викликає прогин.

2.3.4 Система решітки ферми

Решітка ферм працюють на поперечну силу, виконуючи функції стінки суцільної балки. Від системи ґрат залежать вага ферми, трудомісткість її виготовлення, зовнішній вигляд. Ґрати повинні відповідати схемі застосування

навантажень, оскільки навантаження щоб уникнути місцевого вигину пояса передаються, як правило, на ферму у вузлах.

При проектуванні розкісної системи решітки потрібно прагнути, щоб найдовші елементи – розкоси – були розтягнуті, а стійки – стиснутими. Ця вимога задовольняється при низхідних розкосах у фермах із паралельними поясами.

2.3.5 Панелі ферм

Поруч із вибором системи решітки встановлюють розміри панелей ферм. Оскільки навантаження зазвичай додається до вузлів ферм, панелі повинні відповідати відстаням між елементами, що передають навантаження на ферму. Розміри панелей повинні відповідати оптимальному куту нахилу розкосів. Оптимальний кут нахилу розкосів в решітці розкосів -35° . З конструктивних міркувань - раціонального контуру фасонки у вузлі та зручності прикріплення розкосів - бажаний кут, близький до 45° . При малих кутах фасонки виходять занадто витягнутими, при великих - високими, що робить їх громіздкими та неекономічними.

У кроквяних фермах розміри панелей визначаються системою покрівельного покриття. Якщо по кроквих ферм укладають прогоони, панель, що дорівнює відстані між прогонами, визначається видом покрівельного настилу та її довжина змінюється від 1,5 до 4 м. Застосовуються безпрогінні покрівельні покриття, у яких покрівлю у вигляді профільованого настилу, залізобетонних панелей або металевих щитів укладають безпосередньо на поясі ферм. Безпрогінні покриття є індустріальнішими і найчастіше економічнішими за витратою стали.

2.3.6 Будівельний підйом

Прогини, що виникають у фермах, погіршують зовнішній вигляд конструкції і в багатьох випадках неприпустимі за умовами експлуатації

(наприклад, у виробничих будівлях при підвісці до ферм підйомно-транспортного обладнання).

Провисання ферм запобігає устрою будівельного підйому, т.е. е. виготовленням ферм із зворотним вигином, який під дією навантаження погашається, у результаті ферми приймають проектне положення. Будівельне піднесення приймають рівним прогину від постійних навантажень. При плоских покрівлях будівельний підйом слід приймати незалежно від величини прольоту, що дорівнює прогину від сумарного нормативного навантаження плюс $1/200$ прольоту.

Теоретичну лінію будівельного підйому можна отримати, якщо під час виготовлення ферми довжину кожного стрижня l брати з урахуванням його пружних деформацій, тобто.

$$l_{\Delta} = l + \Delta l = l \left(1 + \frac{\sigma}{E}\right) \quad (2.6)$$

де l — довжина стрижня у розрахунковій геометричній схемі; $\Delta l = \frac{\sigma l}{E}$ — подовження або укорочення стрижня від навантажень, що приймаються при визначенні будівельного підйому.

Перегини влаштовуються лише у монтажних вузлах. Так, у кроквяних фермах, що мають один монтажний стик посередині прольоту, будівельний підйом задається по трикутнику. [6]

2.4 Вибір марок сталів для кропильних ферм

Клас стали обирають на основі варіантного проектування та техніко-економічного аналізу за ДБН В.2.6-198:2014. Вибір класу сталі для будівельних конструкцій залежить від наступних параметрів, що впливають на роботу матеріалу:

- температури середовища, в якому монтуються та експлуатуються конструкції, що впливає на підвищену небезпеку крихкого руйнування при

знижених температурах;

- характеру навантаження, що визначає особливість роботи матеріалу та конструкцій при динамічному, вібраційному та змінному навантаженнях;
- виду напруженого стану (одновісний стиск або розтяг, плоский або об'ємний напружений стан) і рівня напруг, що виникають (сильно або слабо навантажені елементи);
- способу з'єднання елементів, що визначають рівень власної напруги, ступінь концентрації напруги та властивості матеріалів у зоні з'єднання;
- товщини прокату, що застосовується в елементах (зі збільшенням товщини змінюються властивості сталі).

Залежно від ступеня відповідальності конструкцій будівель та споруд, а також від умов їх експлуатації всі конструкції поділяються на чотири групи.

До першої групи відносяться основні зварні конструкції або їх елементи (підкранові балки, балки робочих майданчиків, елементи конструкцій бункерів тощо), що працюють в особливо важких умовах або піддаються безпосередньому впливу динамічних, вібраційних або рухомих навантажень.

До другої групи відносяться основні зварні конструкції або їх елементи (ферми, ригелі рам, балки перекриттів та покриттів тощо), що працюють при статичних навантаженнях переважно на розтяг, а також конструкції та елементи першої групи за відсутності зварних з'єднань.

До третьої групи відносяться основні зварні конструкції або їх елементи (колони, стійки, опорні плити, елементи настилу перекриттів, вертикальні зв'язки по колонах з напругою у зв'язках понад $0,4R_y$ і т.п.), що працюють при статичних навантаженнях переважно на стиск, а також конструкції та елементи другої групи при відсутності.

До четвертої групи належать допоміжні конструкції будівель та споруд (зв'язки, крім зазначених у третій групі, елементи фахверка, сходи, майданчики, огороження тощо), а також конструкції та їх елементи третьої групи за відсутності зварних з'єднань.

2.5 Бистальні ферменні конструкції

Бістальними називаються конструкції, виготовлені з двох марок сталі - звичайної та підвищеної міцності або високоміцної. Сталь з більш високими характеристиками міцності розташовується на поясах і найбільш напружених елементах решітки, де її висока міцність використовується повністю, а решта елементів і фасонки зі сталі звичайної міцності. Конструктивно це рішення привабливе тим, що посилюються лише зони з максимальними моментами.

2.6 Визначення навантажень на ферми

Все навантаження, що діє на ферму, зазвичай буває прикладеною до вузлів ферми, до яких прикріплюються елементи поперечної конструкції, що передають навантаження на ферму. Для зручності розрахунку визначаються зусилля у стрижнях ферм окремо для кожного виду навантаження. Але постійне та снігове навантаження відносяться до основного поєднання навантажень, і розрахунок на них ведеться з урахуванням встановлених значень коефіцієнтів надійності за навантаженням. [13]

Кроквяні ферми розраховуються на навантаження:

- постійну - від ваги покрівлі, конструкцій підвісної стелі, власної ваги ферми зі зв'язками та ін;
- тимчасові – від снігу, а також від вітру (при ухилах покрівлі понад 30°);
- підвісного підйомно-транспортного обладнання (за його наявності) та інших можливих технологічних навантажень.

Поступово розподілене навантаження підраховується спочатку на 1 м^2 площі, потім по вантажній площі знаходиться зосереджена сила, що діє на кожен вузол.

При можливому завантаженні ферми сніговим навантаженням на половині прольоту може змінитися знак зусилля з плюсу на мінус у середніх малонавантажених елементах решітки. У практичних розрахунках такі елементи

приймаються конструктивно за гранично допустимою гнучкістю як стислі (незалежно від знака зусилля).

РОЗДІЛ 3

ОПИС ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Компонівка конструкції ферм і призначення навантажень

3.1.1 Визначення оптимальних габаритів і перечень елементів кроквяних ферм

Призначення генеральних розмірів та навантажень на кроквяні ферми

Геометрична схема фермі прольотом 18м

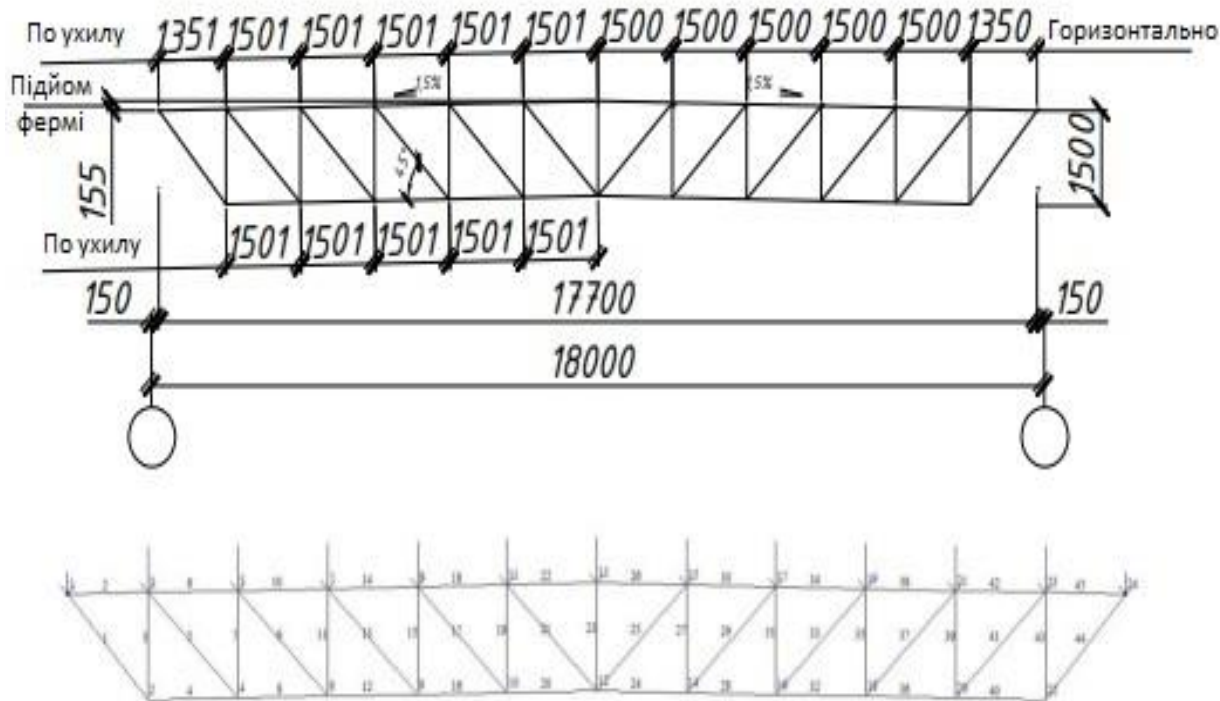


Рисунок 3.1 - Кроквяна ферма покриття прольотом 18 метрів з ухилом 1,5%,
схема з нумерацією вузлів і стрижнів

Геометрична схема фермі прольотом 24м

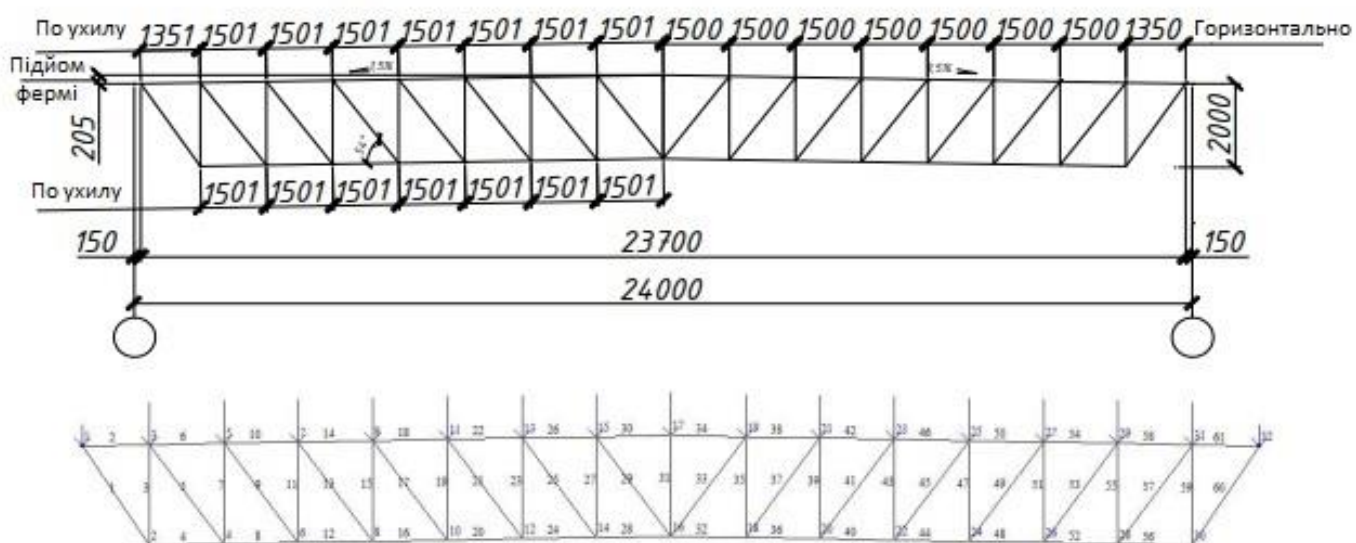


Рисунок 3.2 - Кровляна ферма покриття прольотом 24 метрів з ухилом 1,5%, схема з нумерацією вузлів та стрижнів

Геометрична схема фермі прольотом 30м

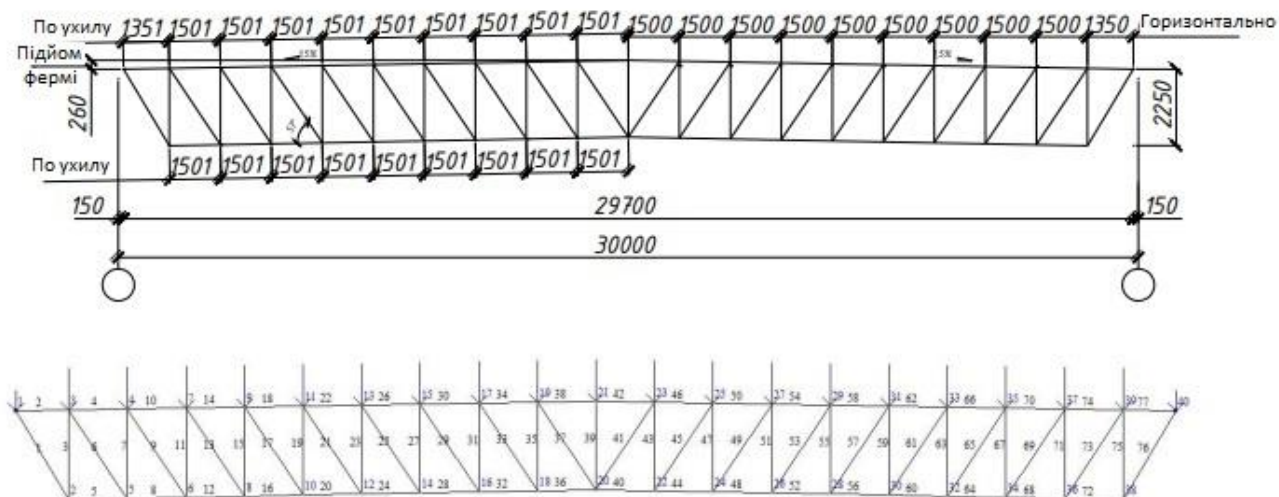


Рисунок 3.3 - Кровляна ферма покриття прольотом 30 метрів з ухилом 1,5%, схема з нумерацією вузлів і стрижнів

3.1.2 Вибір марок сталей кроквяних ферм

Кроквяні ферми покриття прольотами 18, 24 і 30м з ухилом 1,5% розробляються для застосування в опалювальних будівлях з неагресивним середовищем при сухому та нормальному вологому режимі приміщення (відносна вологість до 60%) для всіх кліматичних районів ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія.

У неопалюваних будинках або навісів конструкції покриття можуть застосовуватися тільки в кліматичних районах П4, П5 за наявності зовнішнього водостоку або жолобів з прокладкою нагрівальних елементів.

Вибір матеріалу: 1. Сталь поясів, опорних розкосів ($t > 4$ мм) – С345-3 за ДСТУ 8539:2015.

2. Сталь розкосів та стійок (для бістальних кроквяних ферм) – С255 за ДСТУ 8539:2015.

Зварні заводські елементи (при з'єднанні вузлів зварюванням) слід виконувати напівавтоматичним зварюванням.

У заводських умовах для зварювання елементів слід застосовувати напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу ДСТУ 4817:2007 або в суміші вуглекислого газу з аргоном (ДСТУ ГОСТ 10157:2019). Допускається застосування дроту ПП-АН-8.

Для зварювальних з'єднань на монтажі допускається застосування ручного зварювання. При ручному дуговому зварюванні застосовувати для деталей із низьколегованої сталі електроди типу Е50А, а для зварювання деталей із вуглецевої сталі - електроди типу Е42 ДСТУ EN ISO 18275:2019.

Способи захисту від корозії виконуються за додатком ДСТУ-Н Б В.2.6-186:2013 «Настанова щодо захисту будівельних конструкцій будівель та споруд від корозії» [7], наведені в таблиці 3.1:

Таблиця 3.1 - Захист будівельних конструкцій від корозії

Умови експлуатації конструкцій	Ступінь агресивного впливу середовища	Групи лакофарбових покриттів	
		матеріал конструкцій	
		вуглецева та низьколегована сталь без металевих захисних покриттів	оцинкована сталь
Усередині опалювальних та неопалюваних будівель	слабоагресивная середнеагресивная сильноагресивная	I-80, III-120 II-160, III-160 IV-240	II-40, III-40 не застосовувати не застосовувати
На відкритому повітрі та під навісами	слабоагресивная середньоагресивная сильноагресивная	I-80, III-120 II-160, III-160 IV-200	II-40, III-40 не застосовувати не застосовувати

Примітки:

1. На зварних швах товщина покриттів має бути збільшено на 30 мкм.
2. При виборі лакофарбових покриттів слід зважати на специфічні особливості експлуатації металоконструкцій. Залежно від умов експлуатації лакофарбові покриття, що застосовуються, повинні бути стійкими на відкритому повітрі, під навісом, в приміщеннях - хімічно стійкі, термостійкі, маслостійкі, водостійкі, кислотостійкі, лугостійкі.

3.1.3 Визначення навантажень на кроквяні ферми

Навантаження на кроквяну ферму збираються у дві таблиці: 3.2- навантаження від власної ваги покрівлі та 3.3 – снігові навантаження на рулонну покрівлю. В якості утеплювача приймається покрівельна панель - це тришаровий виріб з нижньою обшивкою зі сталевого оцинкованого і пофарбованого листа, середнім шаром з звуко-теплоізоляційного вогнестійкого матеріалу "Кемотерм" і покривним водоізоляційним шаром з наплавленого бітумно-полімерного матеріалу. Сталеву обшивку панелей виготовляють із сталі холоднокатної термічної зміцненої оцинкованої з безперервних ліній, рулонної без візерунка кристалізації з нормальним цинковим покриттям 1 класу. Товщина обшивки від 0,7 до 1,0 мм.

Несуча здатність покрівельних панелей залежить від її товщини, товщини і профілю металевої обшивки, міцності сердечника, ширини спирання і кожної марки панелей її визначають при статичних випробуваннях з урахуванням нормованої величини прогину.

За відсутності результатів таких випробувань покрівельну панель розраховують як профільований настил (обшивку), що працює у вигляді балки за непрорізаною багатопролітною або однопролітною схемою. Величини нормативних навантажень при розрахунку панелей приймають відповідно до глави ДБН В.1.2-2:2006 з урахуванням температури зовнішнього повітря. У місцях спирання на прогони панелі закріплюють гвинтами, що самонарізають, які встановлюють по торцевих кромках панелі через хвилю, а на проміжних прогонах по краях.

Гідро-теплоізоляційний матеріал Кемотерм випускається з органічних газонаповнених пластмас та характеризується рекордно низькою горючістю, група горючості – Г1.

Складові покрівельної панелі Кемотерм повинні задовольняти вимоги, зазначені в посібнику із застосування :

Таблиця 3.2 - Навантаження від власної ваги покрівлі

№ п/п	Вид навантаження та розрахунок	Нормативне навантаження, кН/м^2	Коефіцієнт надійності за навантаженням γ_f	Розрахункове навантаження, Н/м^2
1	Рулонний килим – Ізоеласт «К» (1 шар);	0,05	1,3	0,065
2	Рулонний килим – Ізоеласт «П» (2 шари);	0,06	1,3	0,078
3	Тришарова покрівельна панель з утеплювачем з тепло- та звукоізоляційного матеріалу Кемотерм АТ 100 мм;	0,24	1,3	0,312
4	Власна вага конструкцій покриття	0,30	1,05	0,315
	Разом:	0,65	-	0,77

Таблиця 3.3 - Снігові навантаження на рулонну покрівлю

Район за вагою снігового покриву	Нормативне навантаження, кН/м^2	Коефіцієнт надійності за навантаженням γ_f	Розрахункове навантаження, кН/м^2
I	0,57	1,4	0,8
II	0,86	1,4	1,2
III	1,29	1,4	1,8
IV	1,71	1,4	2,4
V	2,29	1,4	3,2
VI	2,92	1,4	4,08

Значення погонних рівномірно розподілених розрахункових навантажень від власної ваги конструкцій та снігу (у кН/м) визначаються за формулами: $P = \left(q_{\phi} + \frac{q_{кр}}{\cos \alpha} \right) * B_{\phi}$, (3.1)

де q_{ϕ} - розрахункове навантаження від конструкції покриття;

$q_{кр}$ - розрахункове навантаження від покрівлі;

B_{ϕ} - крок ферми;

α - кут нахилу верхнього пояса.

$$q_s = S_0 \mu B_{\phi} \quad (3.2)$$

де S_0 - розрахункове значення снігового навантаження на 1м^2 для відповідного снігового району;

μ - коефіцієнт переходу від ваги снігового покриву землі до снігового навантаження на покриття.

Загальне розрахункове навантаження:

$$g = P + q_s \quad (3.3)$$

Вузлове навантаження:

$$F_1 = g * l_n \text{ та } F_2 = F_1/2 \quad (3.4)$$

Таблиця 3.4 - Розрахункові навантаження при кроці ферм 4 та 6 м

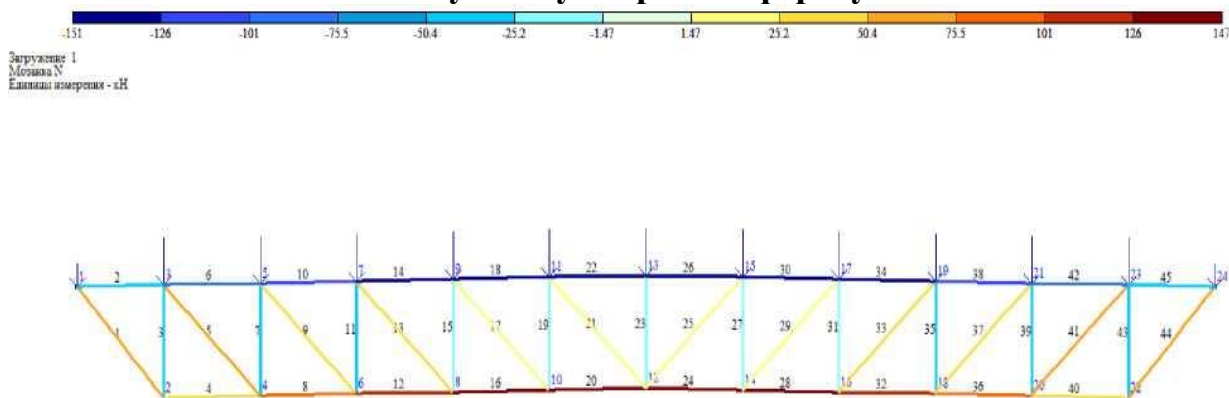
Найменування навантаження, сніговий район		Крок несучих конструкцій	
		4 м	6 м
Розрахункове навантаження від власної ваги - P , кН / м		2,6	3,9
Розрахункове навантаження від снігового покриву- q_s , кН / м	I	3,2	4,8
	II	4,8	7,2
	III	6,4	10,8
	IV	9,6	14,4
	V	12,8	19,2
Загальне навантаження- g , кН / м	I	5,8	8,7
	II	7,4	11,1
	III	9,0	14,7
	IV	12,2	18,3
	V	15,4	23,1

Продовження Таблиці 3.4

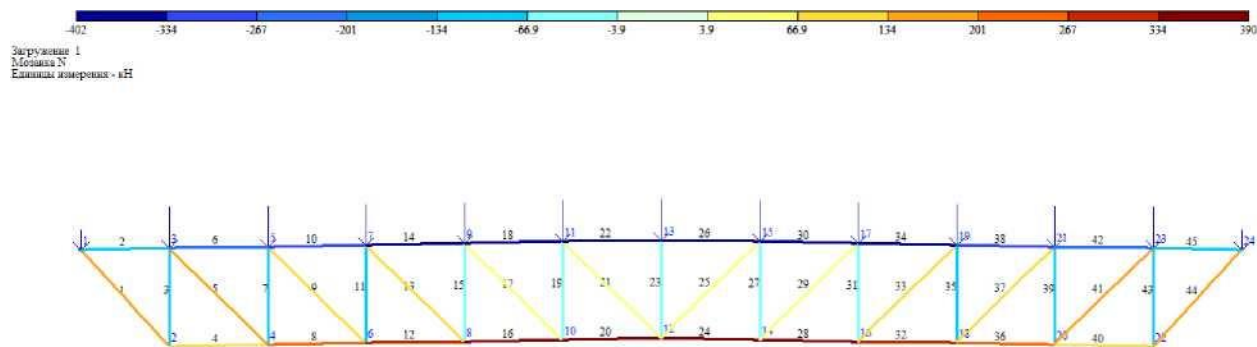
айменування навантаження, сніговий район		Крок несучих конструкцій	
		4 м	6 м
Вузлове навантаження- F_1 , кН	I min	8,7	13,05
	II	11,1	16,65
	III	13,5	22,05
	IV	18,3	27,45
	V max	23,1	34,65
Вузлове навантаження- F_2 , кН	I min	4,35	6,53
	II	5,55	8,33
	III	6,75	11,03
	IV	9,15	13,73
	V max	11,55	17,33

3.2 Розрахунок кроквяних ферм прольотом 18, 24, 30 м з ухилом 1,5% з одиночних куточків автоматизованим методом

3.2.1 Визначення зусиль у стержнях ферм у ПК ЛІРА

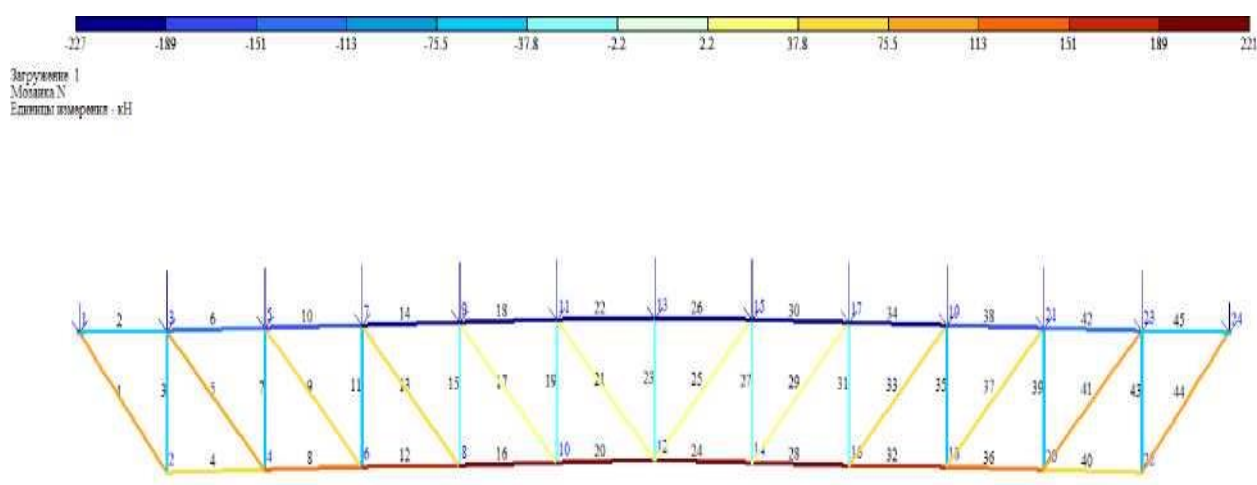


а) при тін навантаженні, що дорівнює 8,7 кН

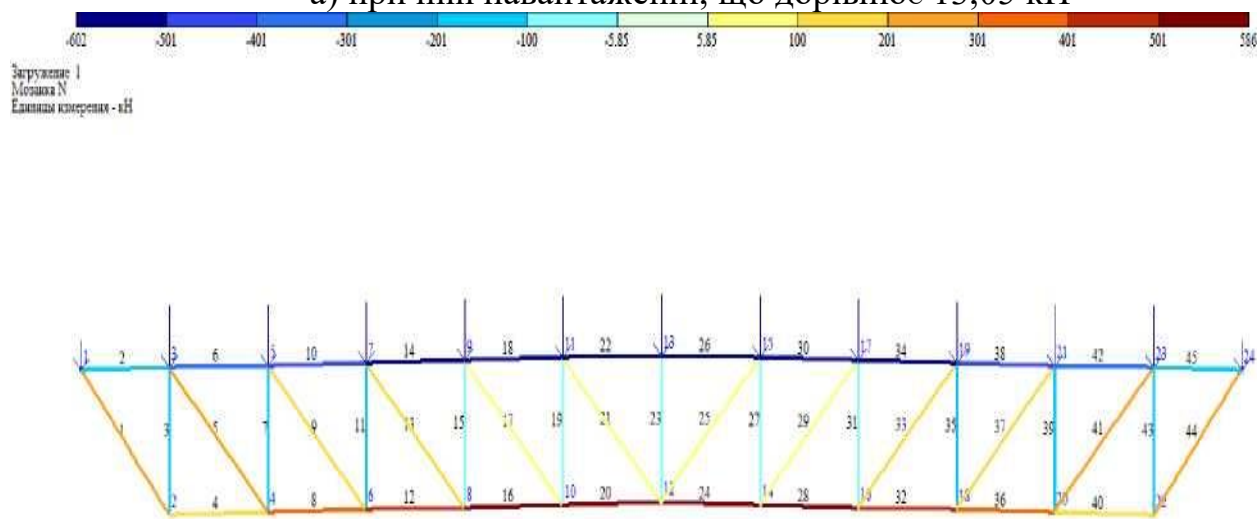


б) при тах навантаженні, що дорівнює 23,1 кН

Рисунок 3.4 - Зусилля у стрижнях ферми прольотом 18 м при кроці 4 м



а) при тін навантаженні, що дорівнює 13,05 кН



б) при тах навантаженні, що дорівнює 34,65 кН

Рисунок 3.5 - Зусилля у стрижнях ферми прольотом 18 м при кроці 6 м

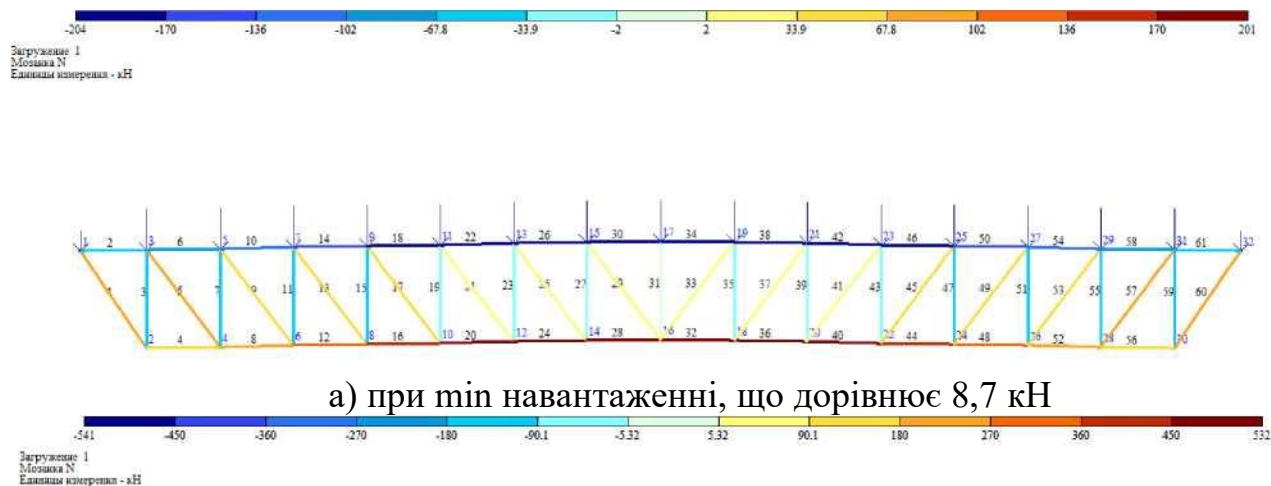
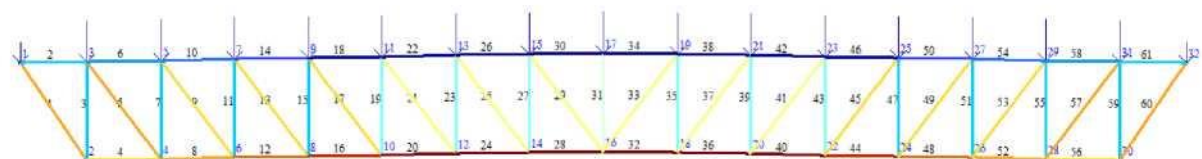


Рисунок 3.6 - Зусилля у стрижнях ферми прольотом 24 м при кроці 4 м

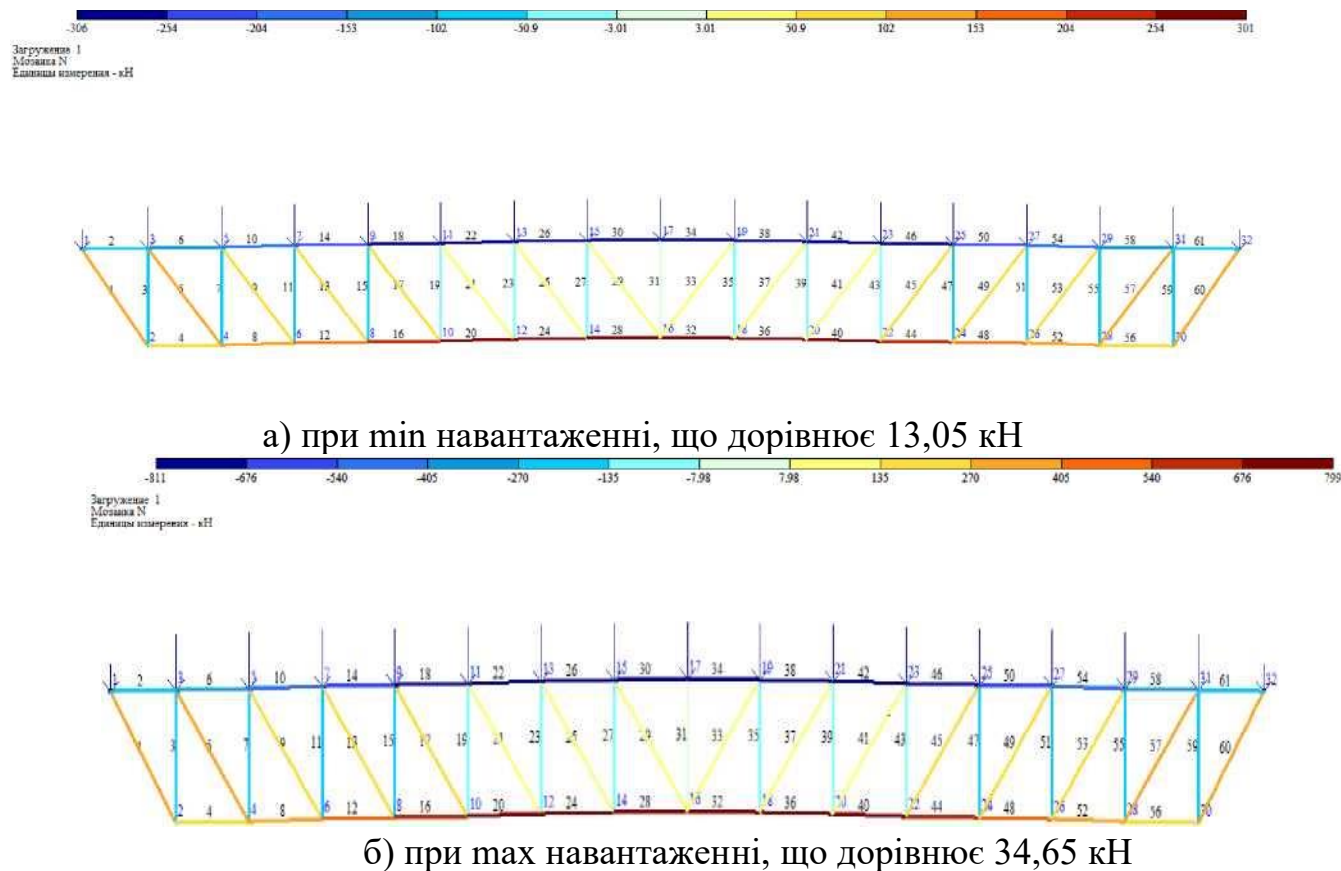
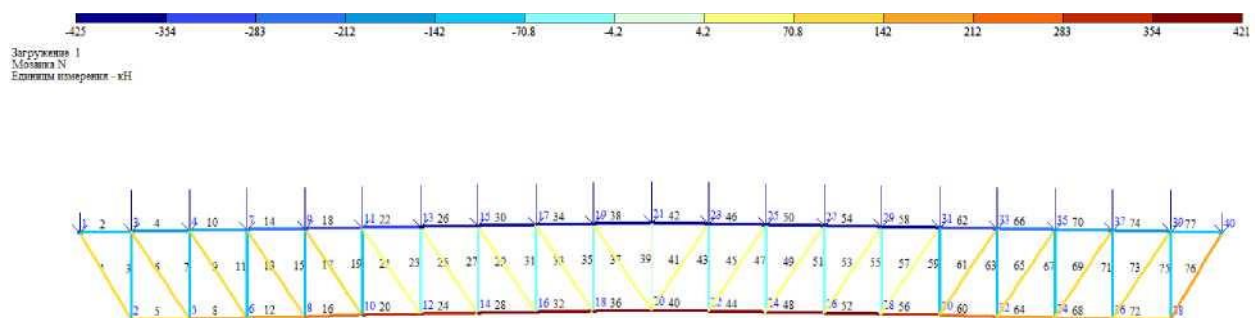


Рисунок 3.7 - Зусилля у стрижнях ферми прольотом 24 м при кроці 6 м

Загружение 1
Полоса N
Единица измерения - кН

Diagram illustrating the distribution of a continuous beam under a load, showing nodes (1 to 40) and segments (1 to 39). The beam is supported at nodes 1, 10, 20, 30, and 40. The load distribution is shown by the color of the beam segments, corresponding to the values on the color scale at the top.

Рисунок 3.8 - Зусилля у стрижнях ферми прольотом 30 м при кроці 4 м



а) При минимальном, но достаточном, $P_{\text{дв}} = 13,0 \text{ кН}$

Закрутка 1
Модуль N
Единица измерения - кН

Рисунок 3.9 - Зусилля у стрижнях ферми прольотом 30 м при кроці 6 м

3.2.2 Результати розрахунків для ферм із сталі однієї марки

В результаті проведеного розрахунку по підбору перерізів кроквяних ферм зі сталей однієї марки в ПК LIRA були отримані наступні габарити перерізів при навантаженнях для V снігового району. Для наочності додамо зображення із ПК LIRA з коефіцієнтами використання прийнятих перерізів елементів ферм.

Таблиця 3.5 – Результати підбору перерізів ферми прольотом 18 м при кроці 4 м

Елементи ферми	Позначення стрижня	Розрахункові зусилля	Розрахункова довжина		Характеристики розрахункового перерізу			
		N, кН	l_x , мм	l_y , мм	$h \times b \times t$, мм	F, см ²	i_x , см	i_y , см
Нижній пояс	4 (40)	111,32	1275	1275	56x36x4	3,58	1,78	1,02
	8 (36)	215,93	1275	1275	65x50x6	6,60	2,04	1,46
	12 (32)	296,83	1275	1275	80x60x7	9,42	2,52	1,75
	16 (28)	354,70	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	20 (24)	389,48	1275	1275	100x63x8	12,57	3,18	1,77
Верхній пояс	2 (45)	-110,43	1148	1148	56x36x5	4,41	1,77	1,01
	6 (42)	-215,73	1275	1275	65x50x6	6,60	2,04	1,46
	10 (38)	-296,60	1275	1275	80x60x7	9,42	2,52	1,75
	14 (34)	-354,56	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	18 (30)	-389,40	1275	1275	100x63x8	12,57	3,18	1,77
	22 (26)	-401,12	1275	1275	100x63x8	12,57	3,18	1,77
Розкоси	1 (44)	164,93	2000	2000	63x63x5	6,13	1,94	1,94
	5 (41)	146,17	1785	1785	56x56x5	5,41	1,72	1,72
	9 (37)	113,05	1785	1785	45x45x4	3,48	1,38	1,38
	13 (33)	80,89	1785	1785	36x36x4	2,75	1,08	1,08
	17 (29)	48,62	1785	1785	36x36x4	2,75	1,08	1,08
	21 (25)	16,33	1785	1785	36x36x4	2,75	1,08	1,08
Стійки	3 (43)	-124,44	1275	1275	40x40x5	3,79	1,21	1,21
	7 (39)	-103,99	1275	1275	45x45x4	3,48	1,38	1,38
	11 (35)	-70,73	1275	1275	32x32x4	2,43	0,96	0,96
	15 (31)	-57,74	1275	1275	25x25x4	1,86	0,74	0,74
	19 (27)	-34,68	1275	1275	25x25x4	1,86	0,74	0,74
	23	-8,96	1275	1275	25x25x4	1,86	0,74	0,74

З метою уніфікації перерізу всіх стрижнів нижнього та верхнього пояса приймаємо з гарячекатаного нерівнополочного куточка – 100x63x8 за ДСТУ 8769:2018.

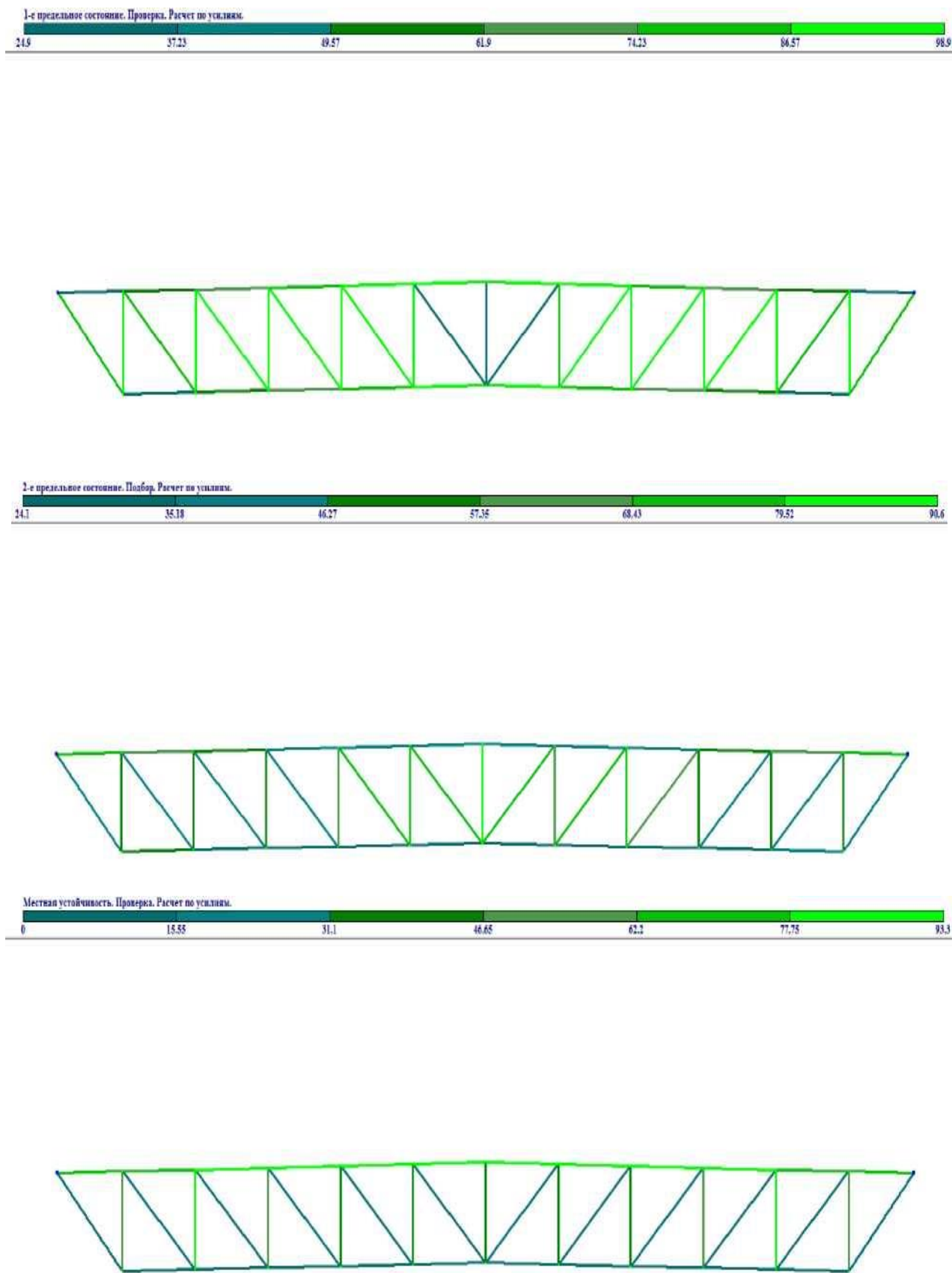


Рисунок 3.10 - Коэффициенты использования элементов фермы прольотом 18 м при кроці 4 м: а) 1-й граничний стан; б) 2-й граничний стан; в) місцева стійкість

Таблиця 3.6 – Результати підбору перерізів ферми прольотом 18 м при кроці 6

м

Елементи ферми	Позначення стрижня	Розрахункові зусилля	Розрахункова довжина		Характеристики розрахункового перерізу			
		N, кН	l_x , мм	l_y , мм	$h \times b \times t$, мм	F, см ²	N, кН	l_x , мм
Нижній пояс	4 (40)	166,97	1275	1275	65x50x5	5,56	2,05	1,47
	8 (36)	323,90	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	12 (32)	445,25	1275	1275	110x70x8	13,93	3,51	1,98
	16 (28)	532,06	1275	1275	125x80x8	15,98	4,00	2,28
	20 (24)	584,22	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
Верхній пояс	2 (45)	-165,64	1148	1148	63x40x5	4,98	2,00	1,12
	6 (42)	-323,60	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	10 (38)	-444,90	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	14 (34)	-531,84	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	18 (30)	-584,10	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	22 (26)	-601,68	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
Розкоси	1 (44)	247,40	2000	2000	90x90x9	15,60	2,75	2,75
	5 (41)	219,26	1785	1785	70x70x5	6,86	2,16	2,16
	9 (37)	169,58	1785	1785	56x56x5	5,41	1,72	1,72
	13 (33)	121,34	1785	1785	40x40x5	3,79	1,21	1,21
	17 (29)	72,92	1785	1785	40x40x3	2,35	1,23	1,23
	21 (25)	24,50	1785	1785	40x40x3	2,35	1,23	1,23
Стійки	3 (43)	-186,66	1275	1275	63x63x5	6,13	1,94	1,94
	7 (39)	-155,99	1275	1275	50x50x5	4,80	1,53	1,53
	11 (35)	-121,10	1275	1275	40x40x5	3,79	1,21	1,21
	15 (31)	-86,61	1275	1275	36x36x4	2,75	1,08	1,08
	19 (27)	-52,03	1275	1275	36x36x4	2,75	1,08	1,08
	23	-13,43	1275	1275	36x36x4	2,75	1,08	1,08

З метою уніфікації перерізу всіх стрижнів нижнього та верхнього поясу приймаємо з гарячекатаного нерівнополочного куточка – 140x90x10 ДСТУ 8769:2018.

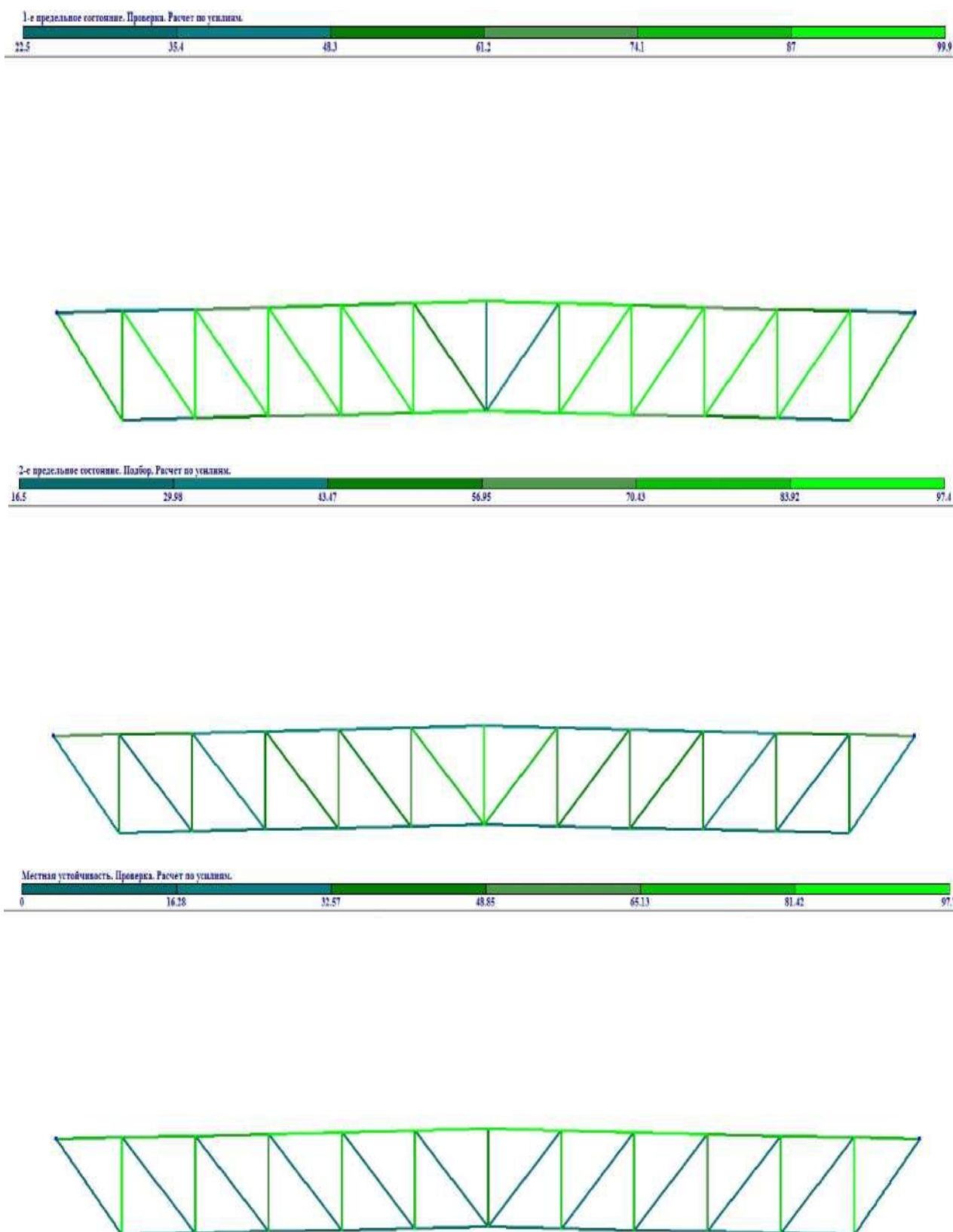


Рисунок 3.11 - Коэффициенты использования элементов фермы прольотом 18 м при кроці 6 м: а) 1-й граничний стан; б) 2-й граничний стан; в) місцева стійкість

Таблиця 3.7 – Результати підбору перерізів ферми прольотом 24 м при кроці

4 м

Елементи ферми	Позначення стрижня	Розрахункові зусилля	Розрахункова довжина		Характеристики розрахункового перерізу			
		N, кН	l_x , мм	l_y , мм	$h \times b \times t$, мм	F, см ²	N, кН	l_x , мм
Нижній пояс	4 (56)	114,00	1275	1275	56x36x4	3,58	1,78	1,02
	8 (52)	227,35	1275	1275	75x50x6	7,25	2,38	1,42
	12 (48)	322,75	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	16 (44)	400,95	1275	1275	100x63x8	12,57	3,18	1,77
	20 (40)	461,81	1275	1275	110x70x8	13,93	3,51	1,98
	24 (36)	505,35	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	28 (32)	531,58	1275	1275	125x80x8	15,98	4,00	2,28
Верхній пояс	2 (61)	-113,30	1148	1148	56x36x5	4,41	1,77	1,01
	6 (58)	-227,19	1275	1275	75x50x6	7,25	2,38	1,42
	10 (54)	-322,53	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	14 (50)	-400,78	1275	1275	100x63x8	12,57	3,18	1,77
	18 (46)	-461,68	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	22 (42)	-505,27	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	26 (38)	-531,53	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	30 (34)	-540,43	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
Розкоси	1 (60)	202,41	2390	2390	63x63x5	6,13	1,94	1,94
	5 (57)	186,68	2108	2108	50x50x7	5,56	1,50	1,50
	9 (53)	157,15	2108	2108	60x60x5	5,83	1,80	1,80
	13 (49)	128,81	2108	2108	50x50x5	4,80	1,50	1,50
	17 (45)	100,25	2108	2108	40x40x4	3,08	1,22	1,22
	21 (41)	71,73	2108	2108	35x35x4	2,67	1,06	1,06
	25 (37)	43,19	2108	2108	35x35x4	2,67	1,06	1,06
	29 (33)	14,64	2108	2108	35x35x4	2,67	1,06	1,06
Стійки	3 (59)	-169,68	1700	1700	45x45x6	5,08	1,35	1,35
	7 (55)	-150,24	1700	1700	50x50x5	4,80	1,53	1,53
	11 (51)	-126,85	1700	1700	40x40x5	3,79	1,21	1,21
	15 (47)	-103,89	1700	1700	35x35x5	3,82	1,05	1,05
	19 (43)	-80,88	1700	1700	35x35x5	3,28	1,05	1,05
	23 (39)	-57,88	1700	1700	30x30x4	2,27	0,90	0,90
	27 (35)	-34,82	1700	1700	30x30x4	2,27	0,90	0,90
	31	-4,37	1700	1700	30x30x4	2,27	0,90	0,90

З метою уніфікації перерізу всіх стрижнів нижнього пояса приймаємо з гарячекатаного нерівнополочного куточка – 125x80x8, верхнього пояса – 125x80x10 за ДСТУ 8769:2018.

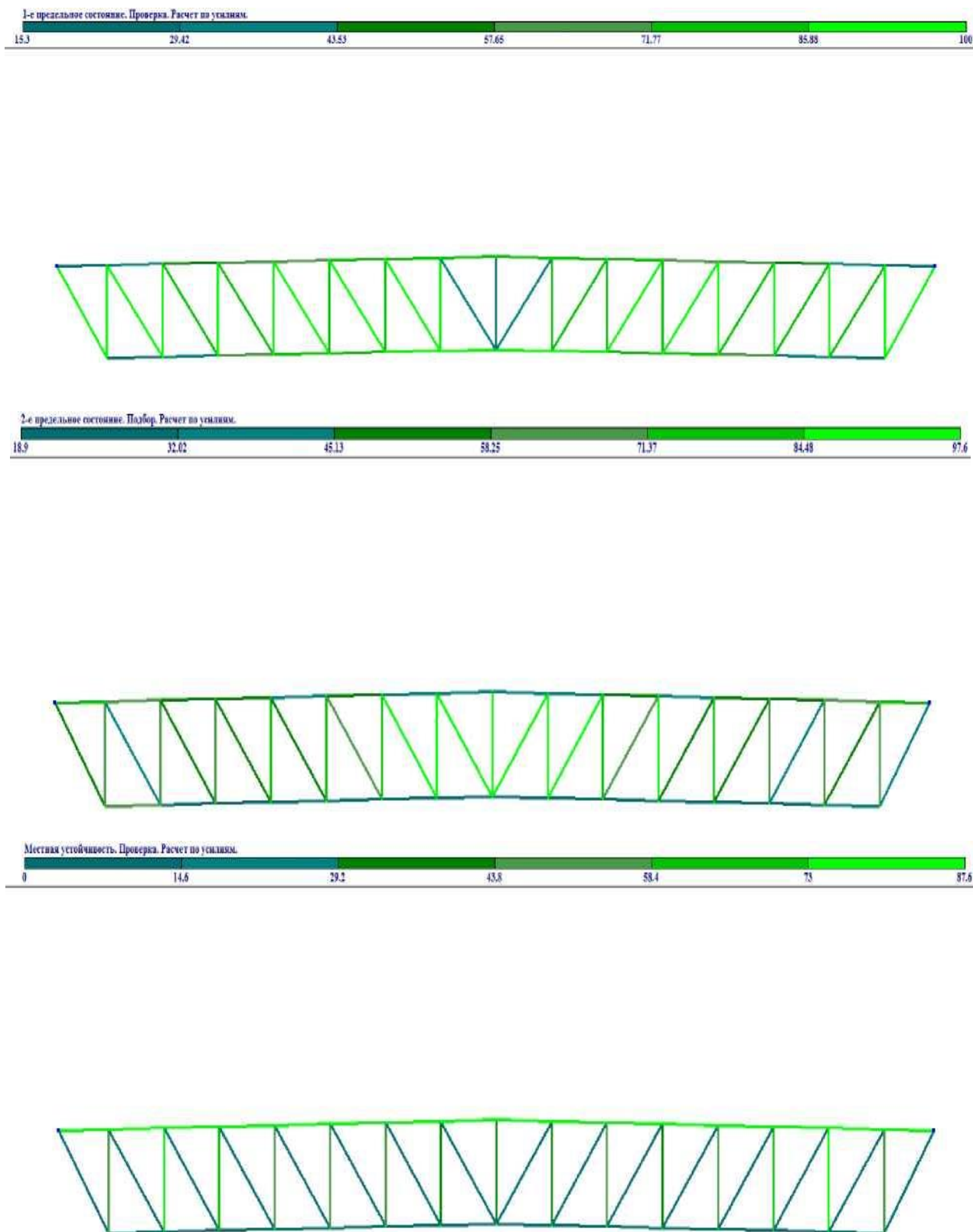


Рисунок 3.12 - Коэффициенты использования элементов фермы прольотом 24 м при кроці 4 м: а) 1-й граничний стан; б) 2-й граничний стан; в) місцева стійкість

Таблиця 3.8 – Результати підбору перерізів ферми прольотом 24 м при кроці 6 м

Елементи ферми	Позначення стрижня	Розрахункові зусилля	Розрахункова довжина		Характеристики розрахункового перерізу			
		N, кН	l _x , мм	l _y , мм	h x b x t, мм	F, см ²	N, кН	l _x , мм
Нижній пояс	4 (56)	171,00	1275	1275	65x50x5	5,56	2,05	1,47
	8 (52)	341,03	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	12 (48)	484,13	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	16 (44)	601,42	1275	1275	140x90x8	18,00	4,49	2,58
	20 (40)	692,72	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
	24 (36)	758,03	1275	1275	160x100x9	22,87	5,15	2,85
	28 (32)	797,37	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
Верхній пояс	2 (61)	-169,94	1148	1148	65x50x5	5,56	2,05	1,47
	6 (58)	-340,78	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	10 (54)	-483,80	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	14 (50)	-601,17	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	18 (46)	-692,52	1275	1275	125x80x12	23,36	3,95	2,24
	22 (42)	-757,90	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
	26 (38)	-797,29	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
	30 (34)	-810,65	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
Розкоси	1 (60)	303,61	2390	2390	90x90x9	15,60	2,75	2,75
	5 (57)	280,02	2108	2108	80x80x6	9,38	2,47	2,47
	9 (53)	235,72	2108	2108	63x63x6	7,28	1,93	1,93
	13 (49)	193,21	2108	2108	60x60x6	6,92	1,80	1,80
	17 (45)	150,38	2108	2108	60x60x4	4,72	1,80	1,80
	21 (41)	107,59	2108	2108	40x40x5	3,79	1,05	1,05
	25 (37)	64,79	2108	2108	35x35x3	2,04	1,07	1,07
	29 (33)	21,96	2108	2108	35x35x3	2,04	1,07	1,07
Стійки	3 (59)	-254,52	1700	1700	70x70x6	8,15	2,15	2,15
	7 (55)	-225,36	1700	1700	60x60x8	9,04	1,80	1,80
	11 (51)	-190,28	1700	1700	50x50x6	5,69	1,52	1,52
	15 (47)	-155,84	1700	1700	50x50x5	4,80	1,53	1,53
	19 (43)	-121,32	1700	1700	40x40x5	3,79	1,21	1,21
	23 (39)	-86,83	1700	1700	30x30x5	2,78	0,90	0,90
	27 (35)	-52,23	1700	1700	30x30x5	2,78	0,90	0,90
	31	-6,55	1700	1700	30x30x5	2,78	0,90	0,90

В цілях уніфікації сечення всіх стержней нижнього и верхнього пояса приймаємо из горячекатаного неравнополочного уголка -160x100x12 по ДСТУ 8769:2018.

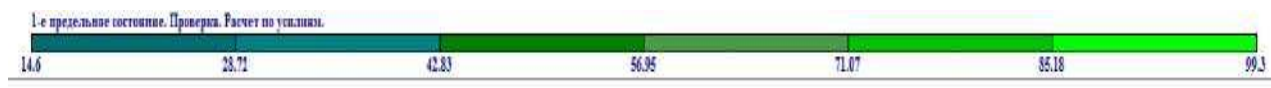
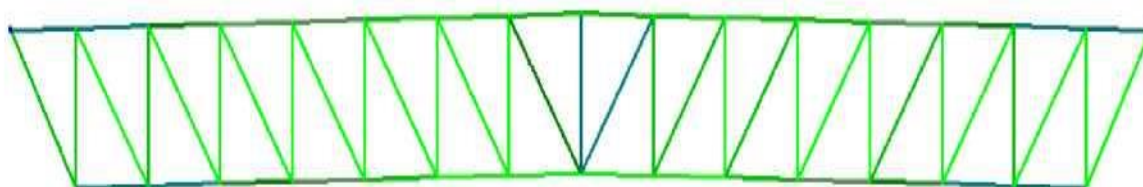
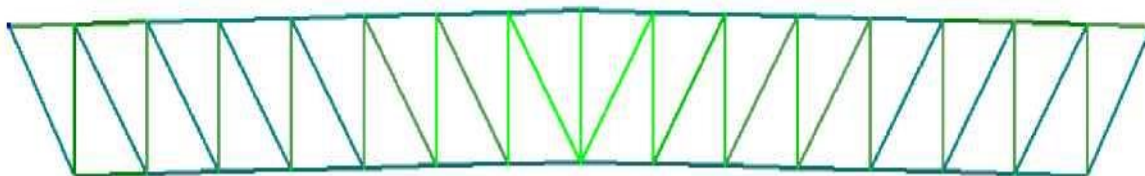
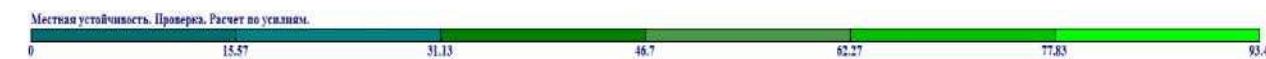
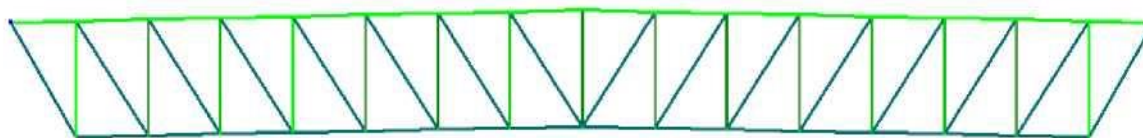


Рисунок 3.13 - Коэффициенты использования элементов фермы прольотом 24 м при кроці 6 м: а) 1-й граничний стан; б) 2-й граничний стан; в) місцева стійкість

Таблиця 3.9 – Результати підбору перерізів ферми прольотом 30 м при кроці

4 м

Елементи ферми	Позначення стрижня	Розрахункові зусилля	Розрахункова довжина		Характеристики розрахункового перерізу			
		N, кН	l_x , мм	l_y , мм	h x b x t, мм	F, см ²	N, кН	l_x , мм
Нижній пояс	5 (72)	126,36	1275	1275	63x40x4	4,04	2,01	1,13
	8 (68)	257,00	1275	1275	63x40x8	7,68	1,96	1,09
	12 (64)	371,74	1275	1275	90x56x8	11,18	2,58	1,56
	16 (60)	471,58	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	20 (56)	556,29	1275	1275	140x90x8	18,00	4,49	2,58
	24 (52)	625,86	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	28 (48)	680,25	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
	32 (44)	719,40	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
	36 (40)	743,29	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
Верхній пояс	2 (77)	-125,56	1148	1148	56x36x5	4,41	1,77	1,01
	4 (74)	-256,83	1275	1275	63x40x8	7,68	1,96	1,09
	10 (70)	-371,48	1275	1275	90x56x8	11,18	2,58	1,56
	14 (66)	-471,36	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	18 (62)	-556,10	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	22 (58)	-625,71	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	26 (54)	-680,12	1275	1275	125x80x12	23,36	3,95	2,24
	30 (50)	-719,31	1275	1275	125x80x12	23,36	3,95	2,24
	34 (46)	-743,23	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
	38 (42)	-751,80	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
Розкоси	1 (76)	246,35	2620	2620	75x75x6	8,78	2,30	2,30
	6 (73)	234,38	2295	2295	70x70x6	8,15	2,15	2,15
	9 (69)	205,81	2295	2295	70x70x4,5	6,20	2,16	2,16
	13 (65)	178,96	2295	2295	56x56x5	5,41	1,72	1,72
	17 (61)	151,75	2295	2295	60x60x4	4,72	1,80	1,80
	21 (57)	124,55	2295	2295	40x40x5	3,79	1,21	1,21
	25 (53)	97,30	2295	2295	50x50x4	3,89	1,55	1,55
	29 (49)	70,00	2295	2295	35x35x5	3,28	1,06	1,06
	33 (45)	42,68	2295	2295	35x35x5	3,28	1,06	1,06
	37 (41)	15,30	2295	2295	35x35x4	2,67	1,06	1,06
Стійки	3 (75)	-214,35	1913	1913	50x50x7	6,56	1,50	1,50
	7 (71)	-196,86	1913	1913	50x50x7	6,56	1,50	1,50
	11 (67)	-173,39	1913	1913	56x56x5	5,41	1,72	1,72
	15 (63)	-150,59	1913	1913	50x50x5	4,80	1,53	1,53
	19 (59)	-127,69	1913	1913	45x45x5	4,29	1,37	1,37
	23 (55)	-104,78	1913	1913	35x35x5	3,82	1,05	1,05
	27 (51)	-81,83	1913	1913	30x30x5	2,78	0,90	0,90
	31 (47)	-58,89	1913	1913	30x30x5	2,78	0,90	0,90
	35 (43)	-35,85	1913	1913	30x30x5	2,78	0,90	0,90
	39	3,30	1913	1913	30x30x5	2,78	0,90	0,90

З метою уніфікації перерізу всіх стрижнів нижнього пояса приймаємо з гарячекатаного нерівнополочного куточка -140x90x10, верхнього пояса -

160x100x12 ДСТУ 8769:2018.

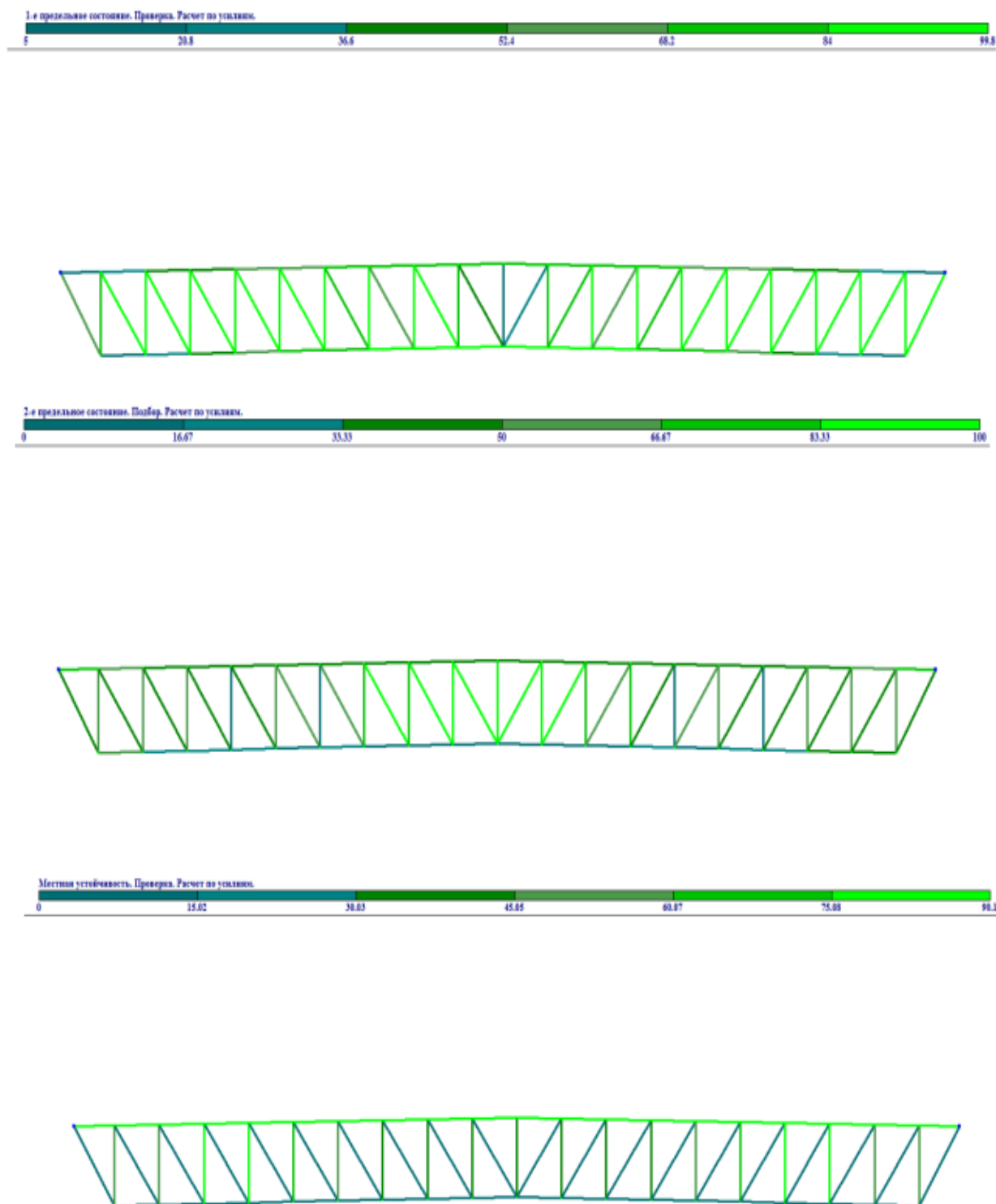


Рисунок 3.14 - Коэффициенты использования элементов фермы прольотом 30 м при кроці 4 м: а) 1-й граничний стан; б) 2-й граничний стан; в) місцева стійкість

Таблиця 3.10 – Результати підбору перерізів ферми прольотом 30 м при кроці 6 м

Елементи ферми	Позначення стрижня	Розрахункові зусилля	Розрахункова довжина		Характеристики розрахункового перерізу			
		N, кН	l_x , мм	l_y , мм	h x b x t, мм	F, см ²	N, кН	l_x , мм
Нижній пояс	5 (72)	189,54	1275	1275	63x40x6	5,90	1,99	1,11
	8 (68)	385,50	1275	1275	100x63x8	12,57	3,18	1,77
	12 (64)	557,62	1275	1275	140x90x8	18,00	4,49	2,58
	16 (60)	707,37	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
	20 (56)	834,43	1275	1275	160x100x10	25,28	5,13	2,84
	24 (52)	938,80	1275	1275	180x110x10	28,33	5,80	3,12
	28 (48)	1020,37	1275	1275	180x110x12	33,69	5,77	3,10
	32 (44)	1079,10	1275	1275	160x100x14	34,72	5,08	2,80
	36 (40)	1114,93	1275	1275	200x125x12	37,89	6,43	3,57
Верхній пояс	2 (77)	-188,33	1148	1148	63x40x6	5,90	1,99	1,11
	4 (74)	-385,25	1275	1275	100x63x8	12,57	3,18	1,77
	10 (70)	-557,22	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	14 (66)	-707,05	1275	1275	125x80x12	23,36	3,95	2,24
	18(62)	-834,16	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
	22 (58)	-938,56	1275	1275	160x100x14	34,72	5,08	2,80
	26 (54)	-1020,18	1275	1275	160x100x14	34,72	5,08	2,80
	30 (50)	-1078,96	1275	1275	160x100x14	34,72	5,08	2,80
	34 (46)	-1114,84	1275	1275	200x125x16	49,77	6,38	3,52
Розкоси	38 (42)	-1127,71	1275	1275	200x125x16	49,77	6,38	3,52
	1 (76)	369,52	2620	2620	100x100x10	19,24	3,05	3,05
	6 (73)	351,58	2295	2295	90x90x7	12,28	2,77	2,77
	9 (69)	308,72	2295	2295	80x80x6	9,38	2,47	2,47
	13 (65)	268,44	2295	2295	70x70x6	8,15	2,15	2,15
	17 (61)	227,62	2295	2295	70x70x6	8,15	2,15	2,15
	21 (57)	186,82	2295	2295	50x50x7	6,56	1,52	1,52
	25(53)	145,95	2295	2295	56x56x5	5,41	1,72	1,72
	29 (49)	105,00	2295	2295	40x40x5	3,79	1,21	1,21
Стійки	33 (45)	64,02	2295	2295	36x36x3	2,1	1,08	1,08
	37 (41)	22,94	2295	2295	36x36x3	2,1	1,08	1,08
	3 (75)	-321,52	1913	1913	75x75x7	10,15	2,29	2,29
	7 (71)	-295,29	1913	1913	60x60x10	11,08	1,80	1,80
	11 (67)	-260,09	1913	1913	70x70x6	8,15	2,15	2,15
	15 (63)	-225,89	1913	1913	60x60x6	6,92	1,80	1,80
	19 (59)	-191,53	1913	1913	60x60x6	6,92	1,80	1,80
	23 (55)	-157,17	1913	1913	50x50x6	5,69	1,53	1,53
	27 (51)	-122,75	1913	1913	45x45x5	4,29	1,37	1,37
	31 (47)	-88,33	1913	1913	30x30x5	2,78	0,90	0,90
	35(43)	-53,77	1913	1913	30x30x5	2,78	0,90	0,90
	39	4,92	1913	1913	30x30x5	2,78	0,90	0,90

З метою уніфікації перерізу всіх стрижнів верхнього та нижнього пояса приймаємо з гарячекатаного нерівнополочного куточка - 200x125x12 за ДСТУ

8769:2018.

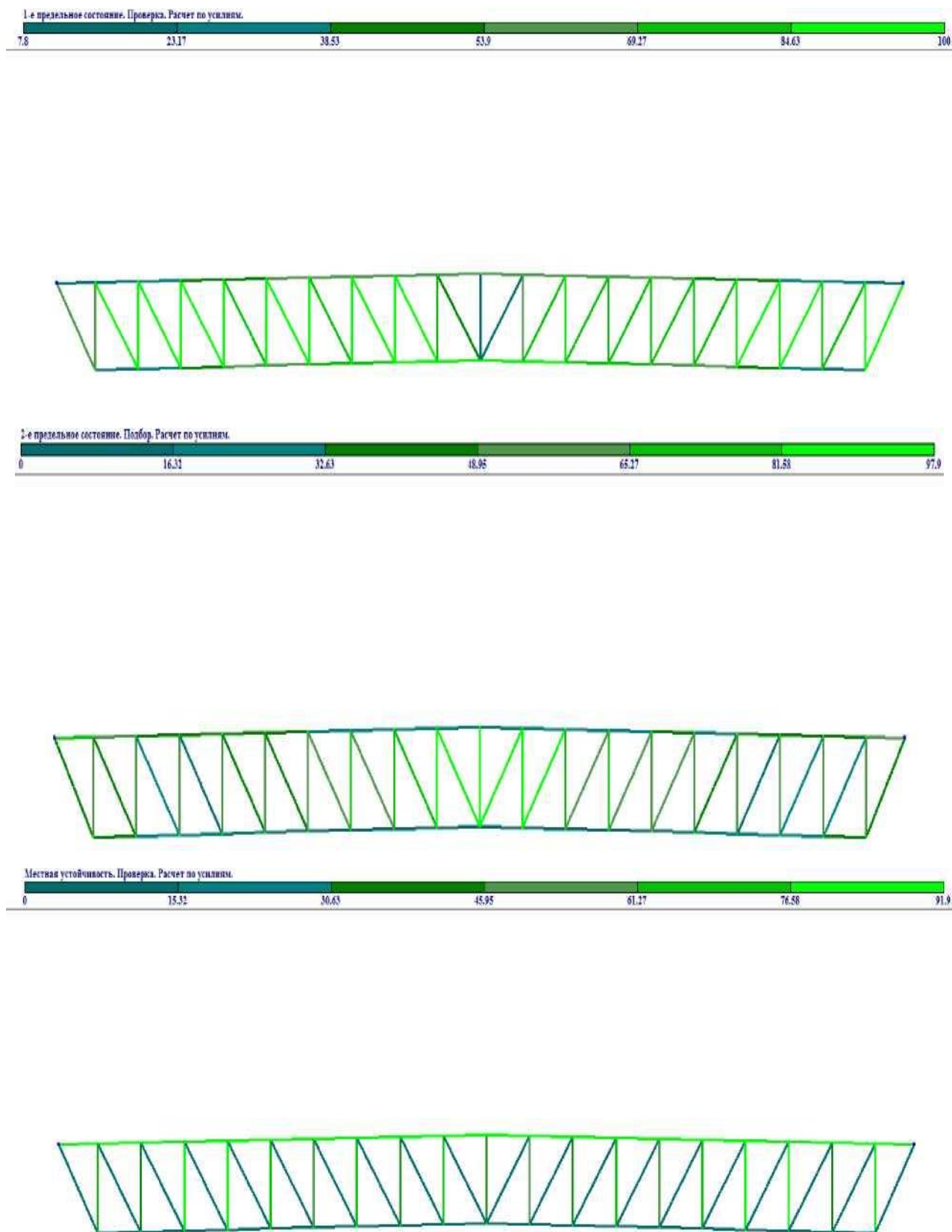


Рисунок 3.15 - Коэффициенты использования элементов фермы прольотом 30 м при кроці 6 м: а) 1-й граничний стан; б) 2-й граничний стан; в) місцева стійкість

3.2.3 Результати розрахунків для бистальних ферм

Для бістальних кроквяних ферм отримані наступні результати підбору перерізів у ПК LIRA.

Таблиця 3.11 – Результати підбору перерізів ферми прольотом 18 м при кроці 4 м

Елементи ферми	Позначення стрижня	Розрахункові зусилля	Розрахункова довжина		Характеристики розрахункового перерізу			
		N, кН	l _x , мм	l _y , мм	h x b x t, мм	F, см ²	N, кН	l _x , мм
Нижній пояс	4 (40)	111,32	1	1	56x3	3		
	8 (36)	215,93	1	1	65x5	6		
	12 (32)	296,83	1	1	80x6	9		
	16 (28)	354,70	1	1	80x6	1		
	20 (24)	389,48	1	1	100x	1		
Верхній пояс	2 (45)	-	1	1	56x3	4		
	6 (42)	-	1	1	65x5	6		
	10 (38)	-	1	1	80x6	9		
	14 (34)	-	1	1	80x6	1		
	18 (30)	-	1	1	100x	1		
	22 (26)	-	1	1	100x	1		
Розкоси	1 (44)	164,93	2	2	63x6	6		
	5 (41)	146,17	1	1	63x6	6		
	9 (37)	113,05	1	1	50x5	4		
	13 (33)	80,89	1	1	45x4	3		
	17 (29)	48,62	1	1	32x3	2		
	21 (25)	16,33	1	1	32x3	2		
Стійки	3 (43)	-	1	1	56x5	5		
	7 (39)	-	1	1	45x4	4		
	11 (35)	-70,73	1	1	45x4	3		
	15 (31)	-57,74	1	1	32x3	2		
	19 (27)	-34,68	1	1	32x3	2		
	23	-8,96	1	1	32x3	2		

З метою уніфікації перерізу всіх стрижнів нижнього та верхнього поясу приймаємо з гарячекатаного нерівнополочного куточка – 100x63x8 за ДСТУ 8769:2018.

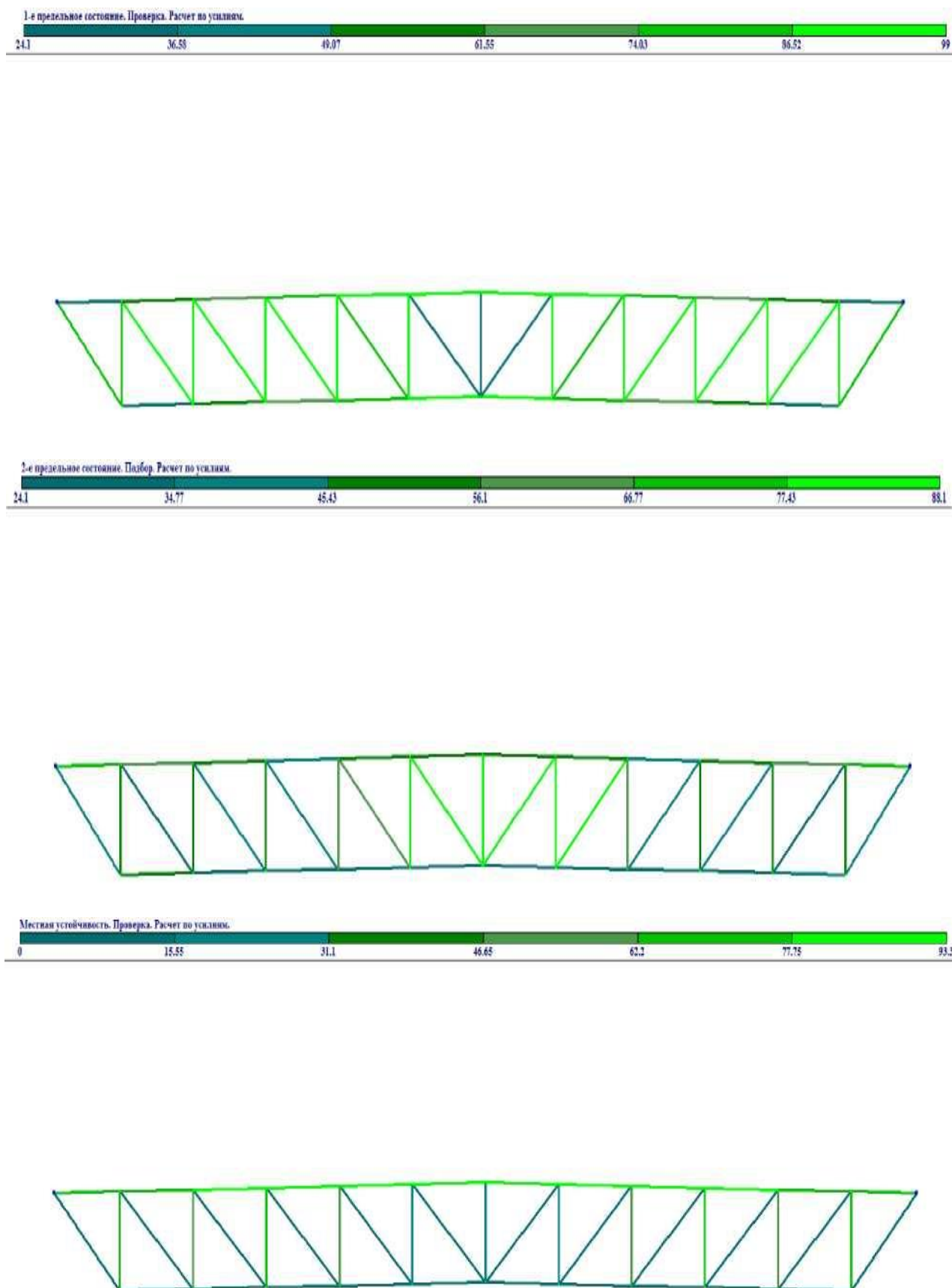


Рисунок 3.16 - Коэффициенты использования элементов фермы прольотом 18 м при кроці 4 м: а) 1-й граничний стан; б) 2-й граничний стан; в) місцева стійкість

Таблиця 3.12 – Результати підбору перерізів ферми прольотом 18 м при кроці 6 м

Елементи ферми	Позначення стрижня	Розрахункові зусилля	Розрахункова довжина		Характеристики розрахункового перерізу			
		N, кН	l _x , мм	l _y , мм	h x b x t, мм	F, см ²	N, кН	l _x , мм
Нижній пояс	4 (40)	166,97	1275	1275	65x50x5	5,56	2,05	1,47
	8 (36)	323,90	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	12 (32)	445,25	1275	1275	110x70x8	13,93	3,51	1,98
	16 (28)	532,06	1275	1275	125x80x8	15,98	4,00	2,28
	20 (24)	584,22	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
Верхній пояс	2 (45)	-165,64	1148	1148	63x40x5	4,98	2,00	1,12
	6 (42)	-323,60	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	10 (38)	-444,90	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	14 (34)	-531,84	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	18 (30)	-584,10	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	22 (26)	-601,68	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
Розкоси	1 (44)	247,40	2000	2000	90x90x9	15,60	2,75	2,75
	5 (41)	219,26	1785	1785	90x90x9	15,60	2,75	2,75
	9 (37)	169,58	1785	1785	70x70x5	6,86	2,16	2,16
	13 (33)	121,34	1785	1785	63x63x4	4,96	1,95	1,95
	17 (29)	72,92	1785	1785	40x40x4	3,08	1,22	1,22
	21 (25)	24,50	1785	1785	40x40x4	3,08	1,22	1,22
Стійки	3 (43)	-186,66	1275	1275	90x90x9	15,60	2,75	2,75
	7 (39)	-155,99	1275	1275	70x70x5	6,86	2,16	2,16
	11 (35)	-121,10	1275	1275	56x56x5	5,41	1,72	1,72
	15 (31)	-86,61	1275	1275	45x45x5	4,29	1,37	1,37
	19 (27)	-52,03	1275	1275	32x32x4	2,43	0,96	0,96
	23	-13,43	1275	1275	32x32x4	2,43	0,96	0,96

З метою уніфікації перерізу всіх стрижнів нижнього та верхнього поясу

приймаємо з гарячекатаного нерівнополочного куточка – 140х90х10 за ДСТУ 8769:2018.

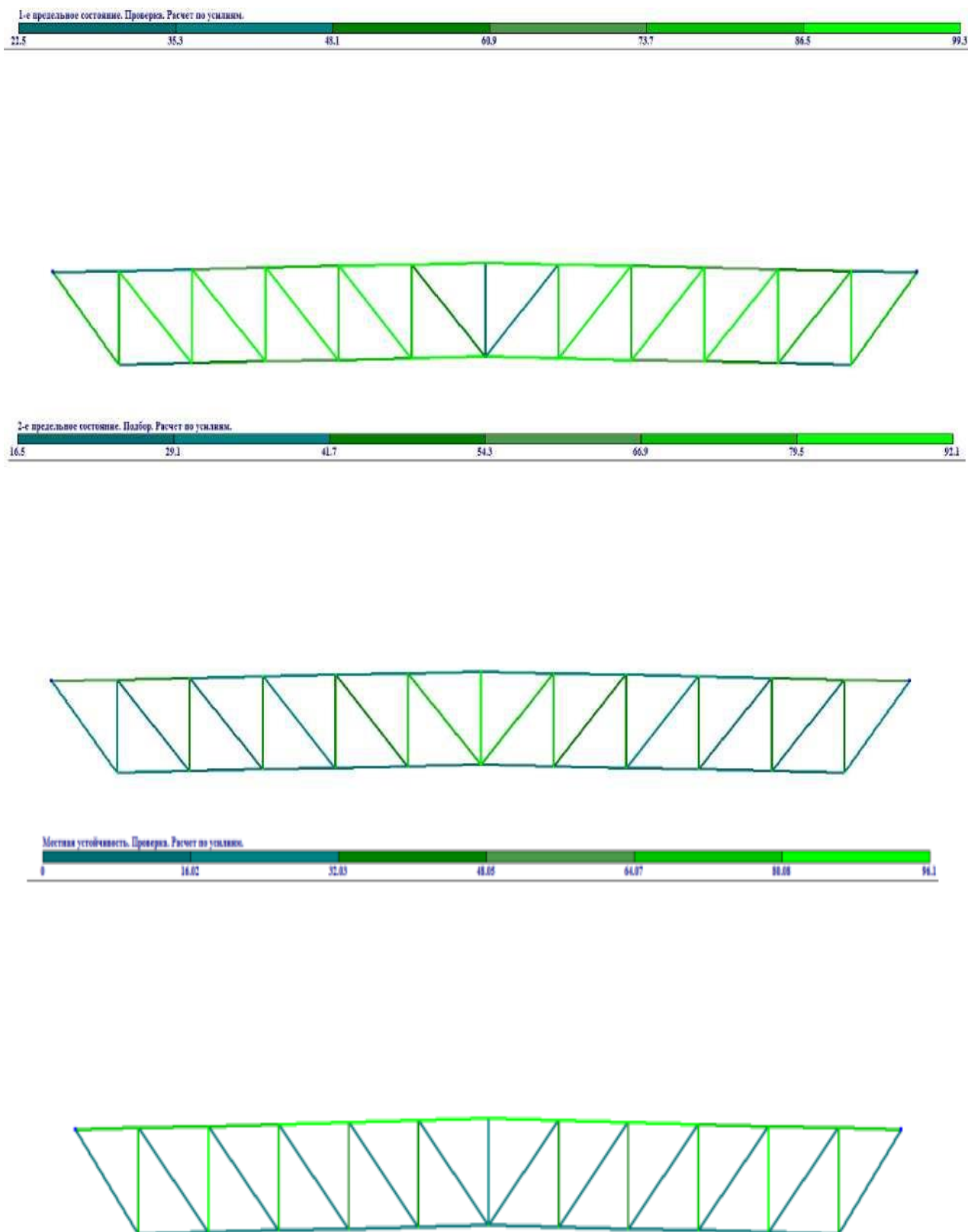


Рисунок 3.17 – Коефіцієнти використання елементів ферми прольотом 18 м при кроці 6 м: а) 1-й граничний стан; б) 2-й граничний стан; в) місцева стійкість

Таблиця 3.13 – Результати підбору перерізів ферми прольотом 24 м при кроці 4 м

Елементи ферми	Позначення стрижня	Розрахунков і зусилля	Розрахункова довжина		Характеристики розрахункового перерізу			
		N, кН	l _x , мм	l _y , мм	h x b x t, мм	F, см ²	N, кН	l _x , мм
Нижній пояс	4 (56)	114,00	1275	1275	56x36x4	3,58	1,78	1,02
	8 (52)	227,35	1275	1275	75x50x6	7,25	2,38	1,42
	12 (48)	322,75	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	16 (44)	400,95	1275	1275	100x63x8	12,57	3,18	1,77
	20 (40)	461,81	1275	1275	110x70x8	13,93	3,51	1,98
	24 (36)	505,35	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	28 (32)	531,58	1275	1275	125x80x8	15,98	4,00	2,28
Верхній пояс	2 (61)	-113,30	1148	1148	56x36x5	4,41	1,77	1,01
	6 (58)	-227,19	1275	1275	75x50x6	7,25	2,38	1,42
	10 (54)	-322,53	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	14 (50)	-400,78	1275	1275	100x63x8	12,57	3,18	1,77
	18 (46)	-461,68	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	22 (42)	-505,27	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	26 (38)	-531,53	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	30 (34)	-540,43	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
Розкоси	1 (60)	202,41	2390	2390	63x63x5	6,13	1,94	1,94
	5 (57)	186,68	2108	2108	70x70x6	8,15	2,15	2,15
	9 (53)	157,15	2108	2108	50x50x8	7,41	1,50	1,50
	13 (49)	128,81	2108	2108	56x56x5	5,41	1,72	1,72
	17 (45)	100,25	2108	2108	45x45x5	4,29	1,37	1,37
	21 (41)	71,73	2108	2108	40x40x4	3,08	1,22	1,22
	25 (37)	43,19	2108	2108	40x40x4	3,08	1,22	1,22
	29 (33)	14,64	2108	2108	40x40x4	3,08	1,22	1,22
Стійки	3 (59)	-169,68	1700	1700	70x70x5	6,86	2,16	2,16
	7 (55)	-150,24	1700	1700	63x63x6	7,28	1,93	1,93
	11 (51)	-126,85	1700	1700	45x45x6	5,08	1,35	1,35
	15 (47)	-103,89	1700	1700	45x45x5	4,29	1,37	1,37
	19 (43)	-80,88	1700	1700	35x35x5	3,82	1,05	1,05
	23 (39)	-57,88	1700	1700	32x32x4	2,43	0,96	0,96
	27 (35)	-34,82	1700	1700	32x32x4	2,43	0,96	0,96
	31	-4,37	1700	1700	32x32x4	2,43	0,96	0,96

З метою уніфікації перерізу всіх стрижнів нижнього пояса приймаємо з гарячекатаного нерівнополочного куточка – 125x80x8, верхнього пояса – 125x80x10 за ДСТУ 8769:2018.

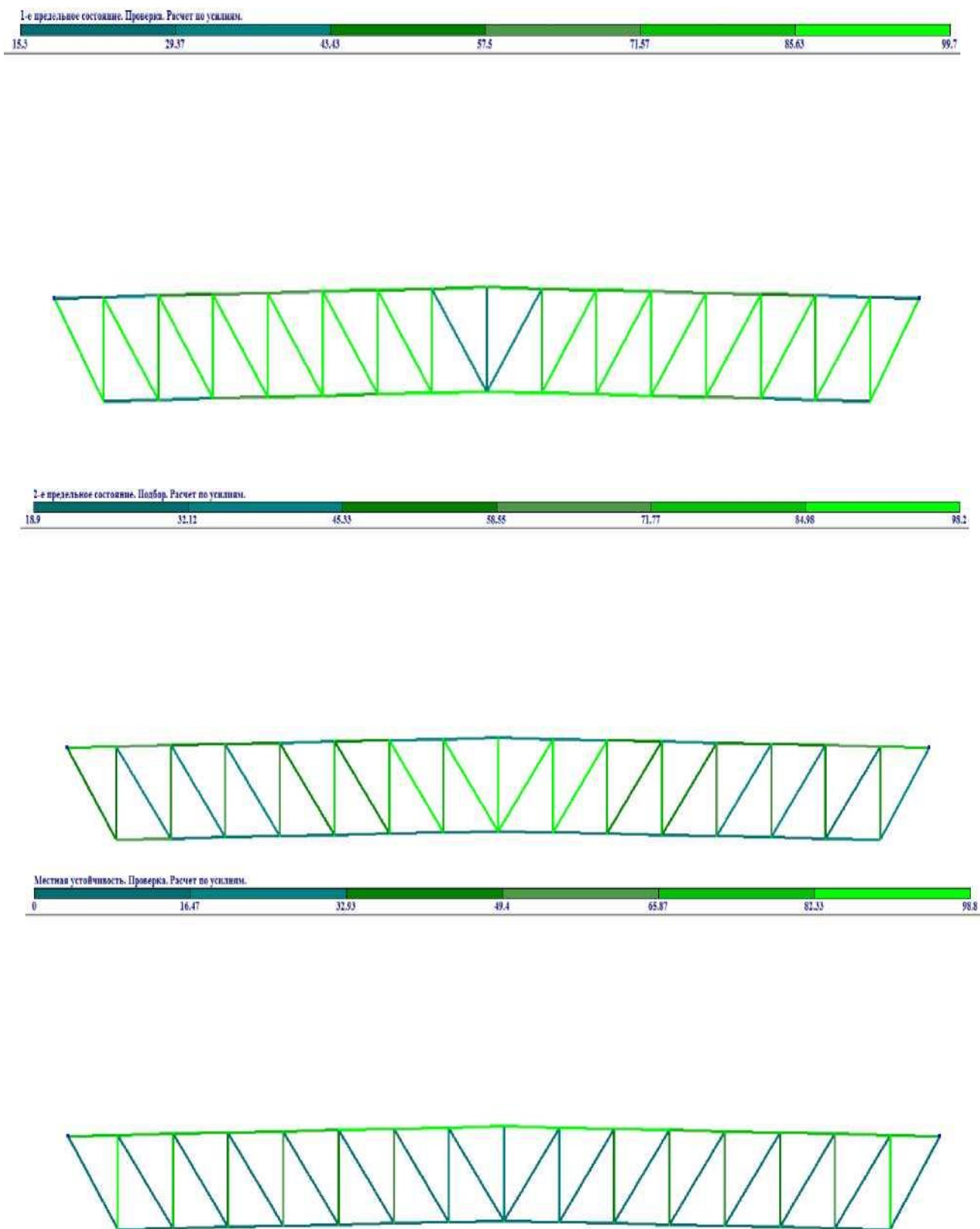


Рисунок 3.18 – Коэффициенты использования элементов фермы прольотом 24 м при кроці 4 м: а) 1-й граничний стан; б) 2-й граничний стан; в) місцева стійкість

Таблиця 3.14 – Результати підбору перерізів ферми прольотом 24 м при кроці 6 м

Елементи ферми	Позначення стрижня	Розрахункові зусилля	Розрахункова довжина		Характеристики розрахункового перерізу			
		N, кН	l_x , мм	l_y , мм	$h \times b \times t$, мм	F , см ²	N, кН	l_x , мм
Нижній пояс	4 (56)	171,00	1275	1275	65x50x5	5,56	2,05	1,47
	8 (52)	341,03	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	12 (48)	484,13	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	16 (44)	601,42	1275	1275	140x90x8	18,00	4,49	2,58
	20 (40)	692,72	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
	24 (36)	758,03	1275	1275	160x100x9	22,87	5,15	2,85
	28 (32)	797,37	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
Верхній пояс	2 (61)	-169,94	1148	1148	65x50x5	5,56	2,05	1,47
	6 (58)	-340,78	1275	1275	80x60x8	10,67	2,50	1,74
	10 (54)	-483,80	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	14 (50)	-601,17	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	18 (46)	-692,52	1275	1275	125x80x12	23,36	3,95	2,24
	22 (42)	-757,90	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
	26 (38)	-797,29	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
	30 (34)	-810,65	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
Розкоси	1 (60)	303,61	2390	2390	90x90x9	15,60	2,75	2,75
	5 (57)	280,02	2108	2108	75x75x9	12,83	2,27	2,27
	9 (53)	235,72	2108	2108	75x75x7	10,15	2,29	2,29
	13 (49)	193,21	2108	2108	70x70x6	8,15	2,15	2,15
	17 (45)	150,38	2108	2108	63x63x5	6,13	1,94	1,94
	21 (41)	107,59	2108	2108	56x56x5	5,41	1,72	1,72
	25 (37)	64,79	2108	2108	30x30x5	2,78	0,90	0,90
	29 (33)	21,96	2108	2108	30x30x5	2,78	0,90	0,90
Стійки	3 (59)	-254,52	1700	1700	100x100x10	19,24	3,05	3,05
	7 (55)	-225,36	1700	1700	70x70x8	10,67	2,12	2,12
	11 (51)	-190,28	1700	1700	70x70x6	8,15	2,15	2,15
	15 (47)	-155,84	1700	1700	50x50x7	6,56	1,50	1,50
	19 (43)	-121,32	1700	1700	45x45x6	5,08	1,35	1,35
	23 (39)	-86,83	1700	1700	45x45x5	4,29	1,37	1,37
	27 (35)	-52,23	1700	1700	35x35x4	2,67	1,06	1,06
	31	-6,55	1700	1700	35x35x4	2,67	1,06	1,06

З метою уніфікації перерізу всіх стрижнів нижнього пояса приймаємо з гарячекатаного нерівнополочного куточка – 160x100x10, верхнього пояса – 160x100x12 за ДСТУ 8769:2018.

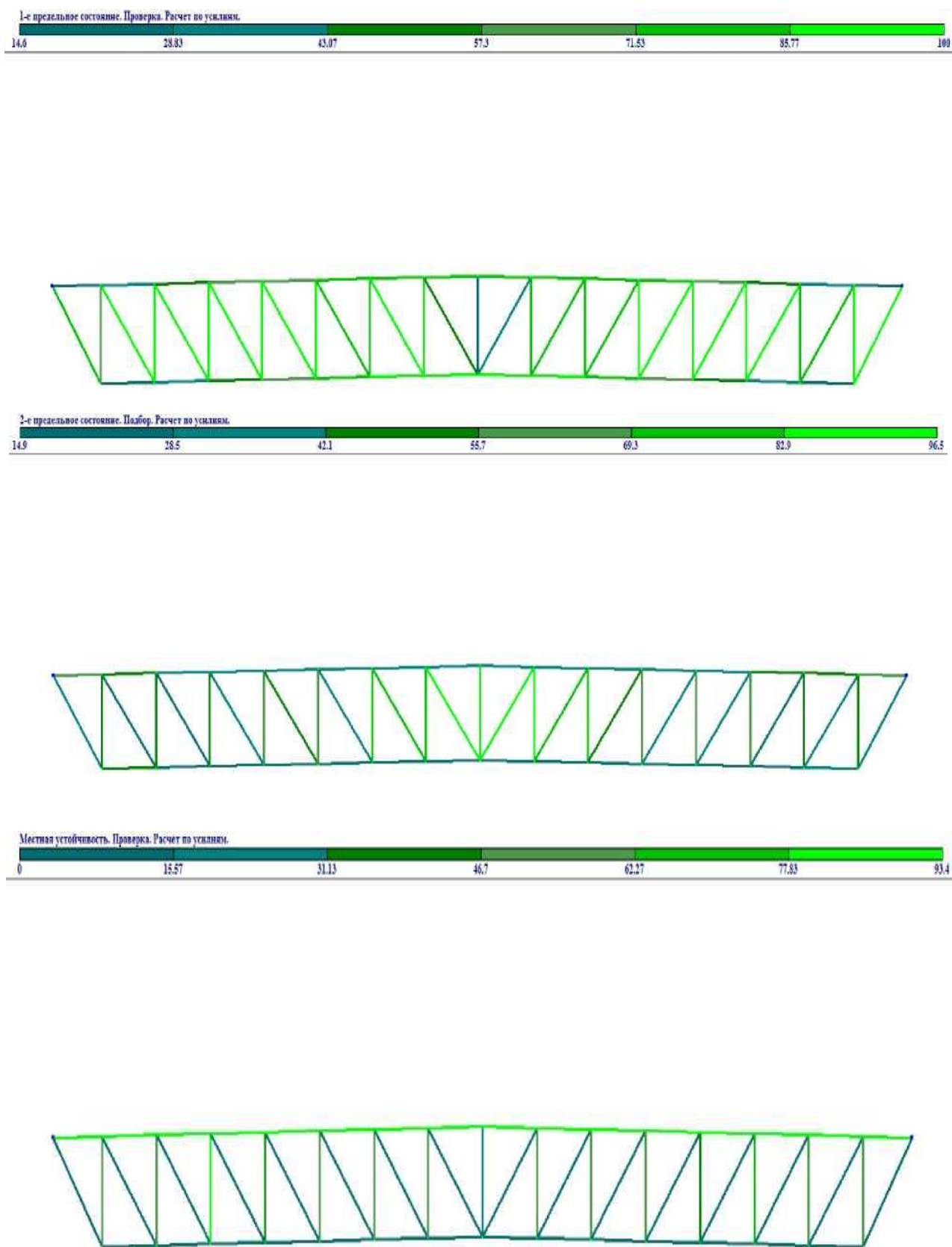


Рисунок 3.19 - Коефіцієнти використання елементів ферми прольотом 24 м при кроці 6 м: а) 1-й граничний стан; б) 2-й граничний стан; в) місцева стійкість

Таблиця 3.15 – Результати підбору перерізів ферми прольотом 30 м при кроці 4 м

Елементи ферми	Позначення стрижня	Розрахунко ві зусилля	Розрахункова довжина		Характеристики розрахункового перерізу			
		N, кН	l_x , мм	l_y , мм	$h \times b \times t$, мм	F , см ²	N, кН	l_x , мм
Нижній пояс	5 (72)	126,36	1275	1275	63x40x4	4,04	2,01	1,13
	8 (68)	257,00	1275	1275	63x40x8	7,68	1,96	1,09
	12 (64)	371,74	1275	1275	90x56x8	11,18	2,58	1,56
	16 (60)	471,58	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	20 (56)	556,29	1275	1275	140x90x8	18,00	4,49	2,58
	24 (52)	625,86	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	28 (48)	680,25	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
	32 (44)	719,40	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
	36 (40)	743,29	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
Верхній пояс	2 (77)	-125,56	1148	1148	56x36x5	4,41	1,77	1,01
	4 (74)	-256,83	1275	1275	63x40x8	7,68	1,96	1,09
	10 (70)	-371,48	1275	1275	90x56x8	11,18	2,58	1,56
	14 (66)	-471,36	1275	1275	100x63x10	15,47	3,15	1,75
	18 (62)	-556,10	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	22 (58)	-625,71	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	26 (54)	-680,12	1275	1275	125x80x12	23,36	3,95	2,24
	30 (50)	-719,31	1275	1275	125x80x12	23,36	3,95	2,24
	34 (46)	-743,23	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
	38 (42)	-751,80	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
Розкоси	1 (76)	246,35	2620	2620	75x75x6	8,78	2,30	2,30
	6 (73)	234,38	2295	2295	80x80x7	10,85	2,45	2,45
	9 (69)	205,81	2295	2295	80x80x5,5	8,63	2,47	2,47
	13 (65)	178,96	2295	2295	63x63x6	7,28	1,93	1,93
	17 (61)	151,75	2295	2295	63x63x6	7,28	1,93	1,93
	21 (57)	124,55	2295	2295	56x56x5	5,41	1,72	1,72
	25 (53)	97,30	2295	2295	45x45x5	4,29	1,37	1,37
	29 (49)	70,00	2295	2295	40x40x4	3,08	1,22	1,22
	33 (45)	42,68	2295	2295	40x40x4	3,08	1,22	1,22
	37 (41)	15,30	2295	2295	40x40x3	2,35	1,23	1,23
Стійки	3 (75)	-214,35	1913	1913	75x75x6	8,78	2,30	2,30
	7 (71)	-196,86	1913	1913	70x70x7	9,42	2,14	2,14
	11 (67)	-173,39	1913	1913	63x63x6	7,28	1,93	1,93
	15 (63)	-150,59	1913	1913	63x63x5	6,13	1,94	1,94
	19 (59)	-127,69	1913	1913	56x56x5	5,41	1,72	1,72
	23 (55)	-104,78	1913	1913	45x45x5	4,29	1,37	1,37
	27 (51)	-81,83	1913	1913	40x40x5	3,79	1,21	1,21
	31 (47)	-58,89	1913	1913	32x32x4	2,43	0,96	0,96
	35 (43)	-35,85	1913	1913	32x32x4	2,43	0,96	0,96
	39	3,30	1913	1913	32x32x4	2,43	0,96	0,96

З метою уніфікації перерізу всіх стрижнів нижнього пояса приймаємо з

гарячекатаного нерівнополочного куточка – 140х90х10, верхнього пояса – 160х100х12 за ДСТУ 8769:2018.

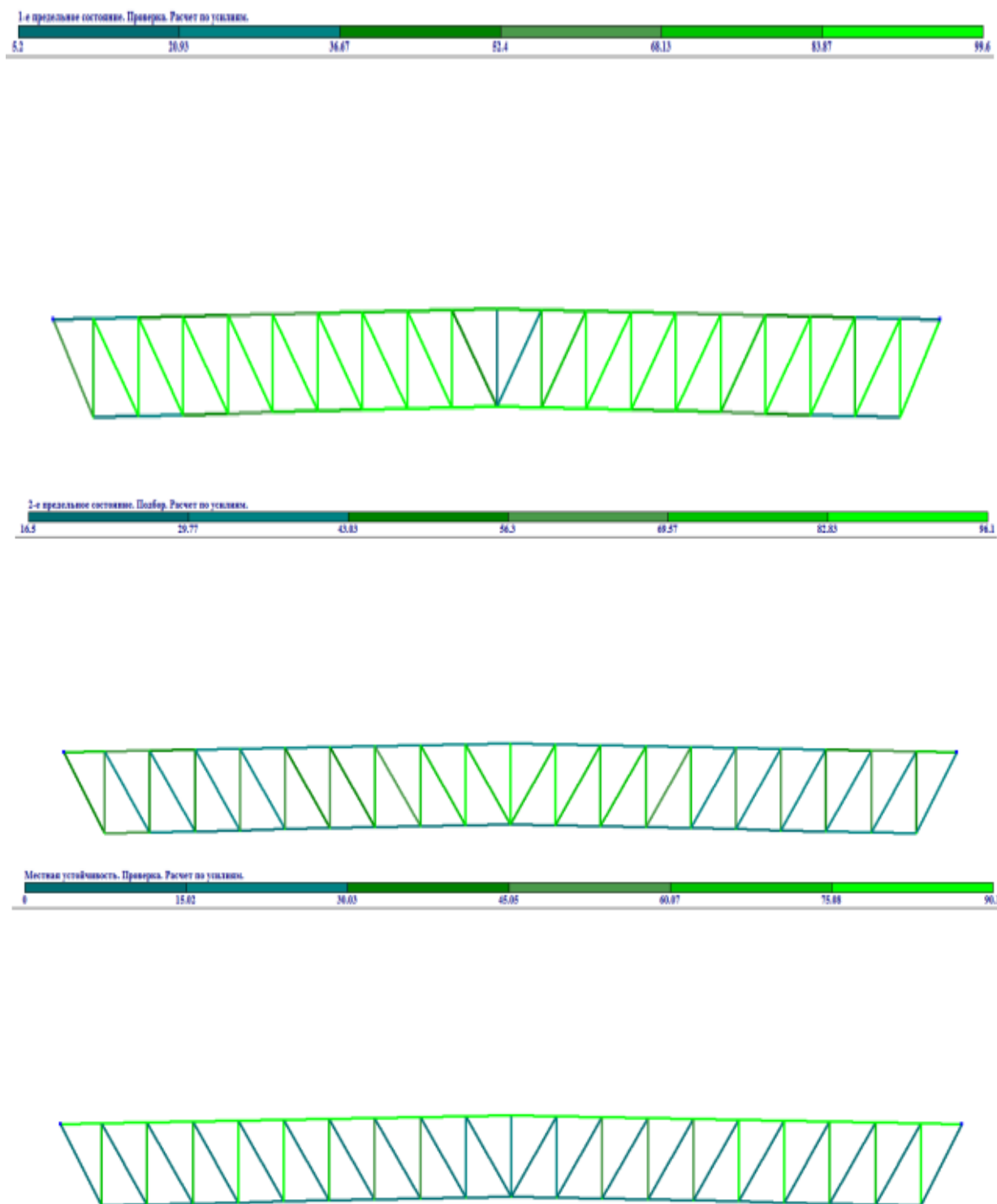


Рисунок 3.20 - Коэффициенты использования элементов фермы прольотом 30 м при кроці 4 м: а) 1-й граничний стан; б) 2-й граничний стан; в) місцева стійкість

Таблиця 3.16 – Результати підбору перерізів ферми прольотом 30 м при кроці 6 м

Елементи ферми	Позначення стрижня	Розрахункові зусилля	Розрахункова довжина		Характеристики розрахункового перерізу			
		N, кН	l _x , мм	l _y , мм	h x b x t, мм	F, см ²	N, кН	l _x , мм
Нижній пояс	5 (72)	189,54	1275	1275	63x40x6	5,90	1,99	1,11
	8 (68)	385,50	1275	1275	100x63x8	12,57	3,18	1,77
	12 (64)	557,62	1275	1275	140x90x8	18,00	4,49	2,58
	16 (60)	707,37	1275	1275	140x90x10	22,24	4,47	2,58
	20 (56)	834,43	1275	1275	160x100x10	25,28	5,13	2,84
	24 (52)	938,80	1275	1275	180x110x10	28,33	5,80	3,12
	28 (48)	1020,37	1275	1275	180x110x12	33,69	5,77	3,10
	32 (44)	1079,10	1275	1275	160x100x14	34,72	5,08	2,80
	36 (40)	1114,93	1275	1275	200x125x12	37,89	6,43	3,57
Верхній пояс	2 (77)	-188,33	1148	1148	63x40x6	5,90	1,99	1,11
	4 (74)	-385,25	1275	1275	100x63x8	12,57	3,18	1,77
	10 (70)	-557,22	1275	1275	125x80x10	19,70	3,98	2,26
	14 (66)	-707,05	1275	1275	125x80x12	23,36	3,95	2,24
	18(62)	-834,16	1275	1275	160x100x12	30,04	5,11	2,82
	22 (58)	-938,56	1275	1275	160x100x14	34,72	5,08	2,80
	26 (54)	-1020,18	1275	1275	160x100x14	34,72	5,08	2,80
	30 (50)	-1078,96	1275	1275	160x100x14	34,72	5,08	2,80
	34 (46)	-1114,84	1275	1275	200x125x16	49,77	6,38	3,52
	38 (42)	-1127,71	1275	1275	200x125x16	49,77	6,38	3,52
Розкоси	1 (76)	369,52	2620	2620	100x100x10	19,24	3,05	3,05
	6 (73)	351,58	2295	2295	90x90x9	15,60	2,75	2,75
	9 (69)	308,72	2295	2295	100x100x6,5	12,82	3,09	3,09
	13 (65)	268,44	2295	2295	80x80x8	12,30	2,44	2,44
	17 (61)	227,62	2295	2295	80x80x6	9,38	2,47	2,47
	21 (57)	186,82	2295	2295	70x70x6	8,15	2,15	2,15
	25(53)	145,95	2295	2295	63x63x5	6,13	1,94	1,94
	29 (49)	105,00	2295	2295	50x50x5	4,80	1,53	1,53
	33 (45)	64,02	2295	2295	30x30x5	2,78	0,90	0,90
	37 (41)	22,94	2295	2295	30x30x5	2,78	0,90	0,90
Стійки	3 (75)	-321,52	1913	1913	100x100x10	19,24	3,05	3,05
	7 (71)	-295,29	1913	1913	90x90x8	13,93	2,76	2,76
	11 (67)	-260,09	1913	1913	70x70x8	10,67	2,12	2,12
	15 (63)	-225,89	1913	1913	70x70x8	10,67	2,12	2,12
	19 (59)	-191,53	1913	1913	70x70x6	8,15	2,15	2,15
	23 (55)	-157,17	1913	1913	50x50x8	7,41	1,53	1,53
	27 (51)	-122,75	1913	1913	50x50x6	5,69	1,52	1,52
	31 (47)	-88,33	1913	1913	40x40x5	3,79	1,21	1,21
	35(43)	-53,77	1913	1913	35x35x4	2,67	1,06	1,06
	39	4,92	1913	1913	35x35x4	2,67	1,06	1,06

З метою уніфікації перерізу всіх стрижнів верхнього та нижнього пояса приймаємо з гарячекатаного нерівнополочного куточка - 200x125x12 ДСТУ

8769:2018.

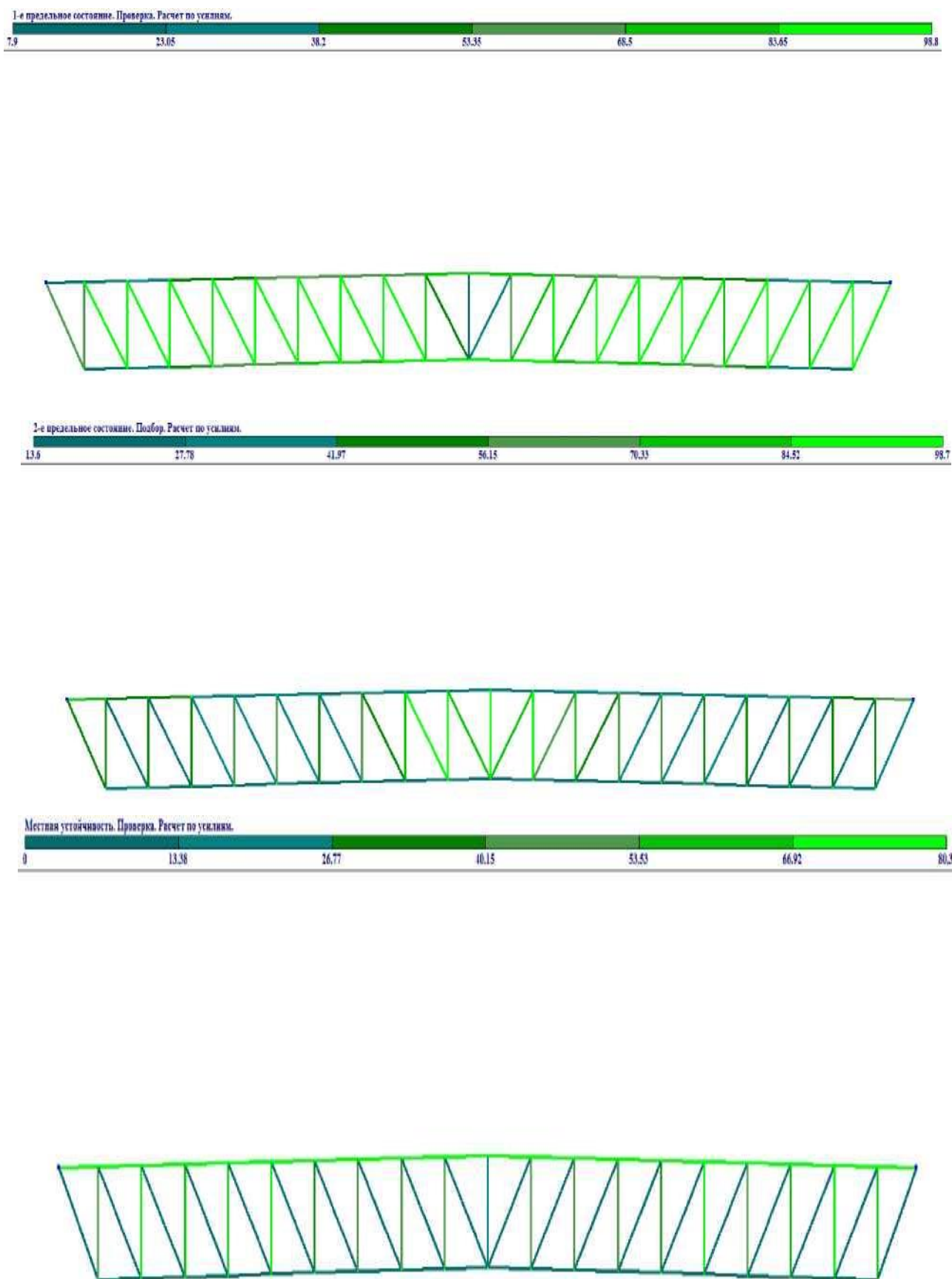


Рисунок 3.21 - Коэффициенты использования элементов фермы прольотом 30 м при кроці 6 м: а) 1-й граничний стан; б) 2-й граничний стан; в) місцева стійкість

3.3 Дослідження залежностей між габаритами переклав, маркою сталі, пролітом і навантаженням

Проведено дослідження залежностей між габаритами перерізів, маркою сталі елементів, прольотами та навантаженням на кроквяні ферми з одиночних куточків. Для виявлення даних залежностей було проведено розрахунки автоматизованим та неавтоматизованим методами у попередніх розділах.

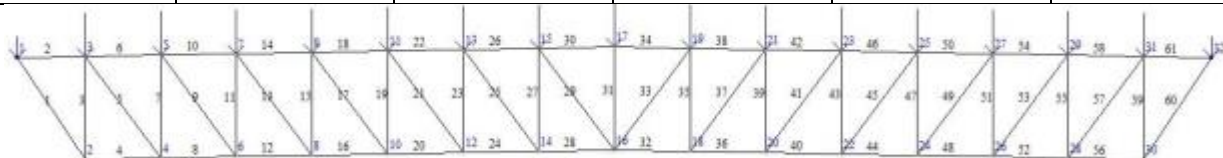
3.3.1 Уніфікація розмірів переклав копільних ферм пролітом 18, 24, 30 м з уклоном 1,5% з одинних куточків

Рівні довжини елементів решітки, однакова схема вузлів, повторюваність елементів і деталей, можливість уніфікації їх сприяють індустріалізації їх виготовлення. Тому для спрощення виготовлення кроквяних ферм доцільно прийняти загальні габарити перерізів деяких елементів решітки ферм по зусиллям. При уніфікації розмірів перерізів елементів ферм необхідно врахувати збільшення маси деяких стрижнів, що позначиться загальної ефективності прийнятих рішень. Результати уніфікації зведемо до таблиці 3.17:

Таблиця 3.17 - Зведена порівняльна таблиця перерізів елементів ферм при навантаженні тах для V снігового району

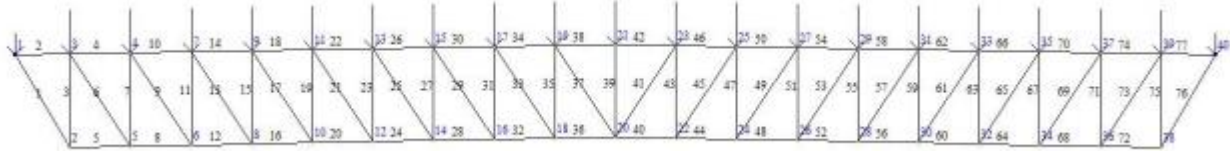
Кроквяна ферма прольотом 18 м з ухилом 1,5% з одиночних куточків					
Елементи ферми	Позначення стрижня	Перетин елемента h x b x t, мм при кроці 4м		Перетин елемента h x b x t, мм при кроці 6м	
		сталь ферми С345-3	сталь ферми С345-3, С255	сталь ферми С345-3	сталь ферми С345-3, С255
Верхній пояс	ВП	100x63x8	100x63x8	140x90x10	140x90x10

Нижній пояс	НП	100x63x8	100x63x8	140x90x10	140x90x10
Розкоси	1(44), 5(41)	63x63x5	63x63x5	90x90x9	90x90x9
	9(37)	45x45x4	50x50x5	56x56x5	70x70x5
	13(33)	36x36x4	45x45x4	40x40x5	63x63x4
	17(29)	36x36x4	32x32x4	40x40x5	40x40x4
	21(25)	36x36x4	32x32x4	40x40x3	40x40x4
Стійки	3(43)	45x45x5	56x56x5	63x63x5	90x90x9
	7(39)	45x45x5	56x56x5	63x63x5	70x70x5
	11(35)	32x32x4	45x45x4	40x40x5	56x56x5
	15(31)	32x32x4	45x45x4	36x36x4	45x45x5
	19(27)	32x32x4	32x32x4	36x36x4	32x32x4
	23	32x32x4	32x32x4	36x36x4	32x32x4



Кровляна ферма прольотом 24 м з ухилом 1,5% з одиночних куточків

Елементи ферми	Позначення стрижня	Перетин елемента h x b x t, мм при кроці 4м		Перетин елемента h x b x t, мм при кроці 6м	
		сталь ферми С345-3	сталь ферми С345-3, С255	сталь ферми С345-3	сталь ферми С345-3, С255
Верхній пояс	ВП	125x80x10	125x80x10	160x100x12	160x100x12
Нижній пояс	НП	125x80x8	125x80x8	160x100x12	160x100x10
Розкоси	1(60), 5(57)	63x63x5	70x70x6	90x90x9	90x90x9
	9(53)	60x60x5	50x50x8	63x63x6	75x75x7
	13(49)	50x50x5	56x56x5	60x60x6	70x70x6
	17(45)	50x50x5	45x45x5	60x60x6	63x63x5
	21(41)	35x35x4	40x40x4	40x40x5	56x56x5
	25(37)	35x35x4	40x40x4	35x35x3	30x30x5
	29(33)	35x35x4	40x40x4	35x35x3	30x30x5
Стійки	3(59)	50x50x6	70x70x6	70x70x8	100x100x10

		7(55)	50x50x6	70x70x6	70x70x8	70x70x8
		11(51)	40x40x5	45x45x6	50x50x6	70x70x8
		15(47)	40x40x5	45x45x6	50x50x6	50x50x7
		19(43)	40x40x5	35x35x5	40x40x5	45x45x6
		23(39)	30x30x4	35x35x5	30x30x5	45x45x6
		27(35)	30x30x4	32x32x4	30x30x5	35x35x4
		31	30x30x4	32x32x4	30x30x5	35x35x4
						
Кровляна ферма прольотом 30 м з ухилом 1,5% з одиночних куточків						
Елементи ферми	Позначення стрижня	Перетин елемента h x b x t, мм при кроці 4м		Перетин елемента h x b x t, мм при кроці 6м		
		сталь ферми С345-3	сталь ферми С345-3, С255	сталь ферми С345-3	сталь ферми С345-3, С255	
Верхній пояс	ВП	160x100x12	160x100x12	200x125x12	200x125x12	
Нижній пояс	НП	140x90x10	140x90x10	200x125x12	200x125x12	
Розкоси	1(76), 6(73)	75x75x6	80x80x7	100x100x10	100x100x10	
	9(69)	75x75x6	80x80x5,5	80x80x6	100x100x6,5	
	13(65)	56x56x5	63x63x6	70x70x6	80x80x8	
	17(61)	60x60x4	63x63x6	70x70x6	80x80x8	
	21(57)	40x40x5	56x56x5	50x50x7	70x70x6	
	25(53)	50x50x4	45x45x5	56x56x5	63x63x5	
	29(49)	35x35x5	40x40x4	40x40x5	50x50x5	
	33(45)	35x35x5	40x40x4	36x36x3	30x30x5	
	37(41)	35x35x5	40x40x4	36x36x3	30x30x5	
Стійки	3(75), 7(71)	50x50x7	75x75x7	75x75x9	100x100x10	
	11(67)	56x56x5	63x63x6	75x75x9	70x70x8	
	15(63)	56x56x5	63x63x6	60x60x6	70x70x8	
	19(59)	45x45x5	56x56x5	60x60x6	70x70x8	
	23(55)	35x35x5	45x45x5	50x50x6	50x50x8	

	27(51)	30x30x5	40x40x5	45x45x5	50x50x8
	31(47)	30x30x5	32x32x4	30x30x5	40x40x5
	35(43)	30x30x5	32x32x4	30x30x5	35x35x4
	39	30x30x5	32x32x4	30x30x5	35x35x4

За результатами розрахунків та підбору перерізів елементів з одиночних куточків кроквяних ферм прольотами 18, 24 та 30 м у ПК LIRA для різних комбінацій навантажень залежно від снігових районів розраховуємо загальну вагу конструкцій та для наочності дані зводимо до таблиць 3.18 та 3.19. Результати підбору та уніфікації перерізів для V снігового району занесено до таблиці 3.17.

Таблиця 3.18 - Загальна вага конструкцій кроквяних ферм із сталі однієї марки

Проліт, м	Сніговий район	Погонне навантаження при кроці несучих конструкцій покриття, кН/м		Загальна вага конструкцій кроквяних ферм при кроці несучих конструкцій покриття, кг	
		4 м	6 м	4 м	6 м
18	I	5,8	8,7	174	249
	II	7,4	11,1	232	351
	III	9,0	14,7	249	398
	IV	12,2	18,3	374	489
	V	15,4	23,1	430	769
24	I	5,8	8,7	332	497
	II	7,4	11,1	453	602
	III	9,0	14,7	469	789
	IV	12,2	18,3	651	955
	V	15,4	23,1	844	1415
30	I	5,8	8,7	577	762
	II	7,4	11,1	650	1157
	III	9,0	14,7	844	1315
	IV	12,2	18,3	1179	1671
	V	15,4	23,1	1524	2345

Таблиця 3.19 - Загальна вага конструкцій бистальних кроквяних ферм

Проліт, м	Сніговий район	Погонне навантаження при кроці несучих конструкцій покриття, кН/м		Загальна вага конструкцій кроквяних ферм при кроці несучих конструкцій покриття, кг	
		4 м	6 м	4 м	6 м
18	I	5,8	8,7	227	267
	II	7,4	11,1	249	372
	III	9,0	14,7	272	428
	IV	12,2	18,3	383	524
	V	15,4	23,1	448	810
24	I	5,8	8,7	364	532
	II	7,4	11,1	492	650
	III	9,0	14,7	512	854
	IV	12,2	18,3	691	1026
	V	15,4	23,1	898	1420
30	I	5,8	8,7	807	630
	II	7,4	11,1	707	1238
	III	9,0	14,7	916	1417
	IV	12,2	18,3	1354	1784
	V	15,4	23,1	1604	2439

*Загальна вага кроквяних ферм розрахована з урахуванням болтового з'єднання вузлів: для ферм прольотом 18 м застосовуються болти діаметром 12 мм, для прольоту 24 м - діаметром 16 мм, для прольоту 30 м - діаметром 12 мм.

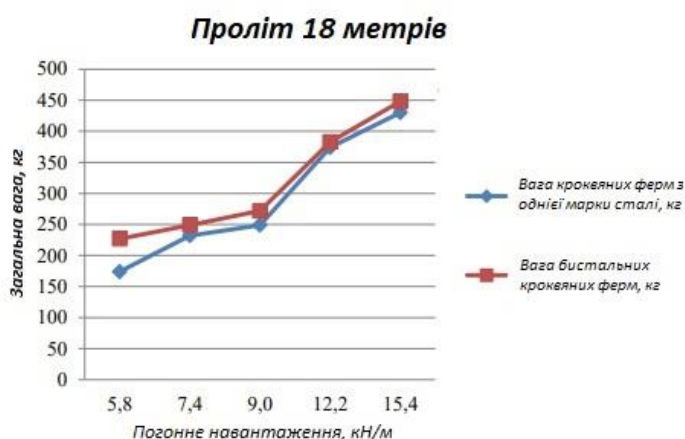


Рисунок 3.22 - Залежність металоємності кроквяної ферми від навантаження для прольоту 18 м при кроці 4 м

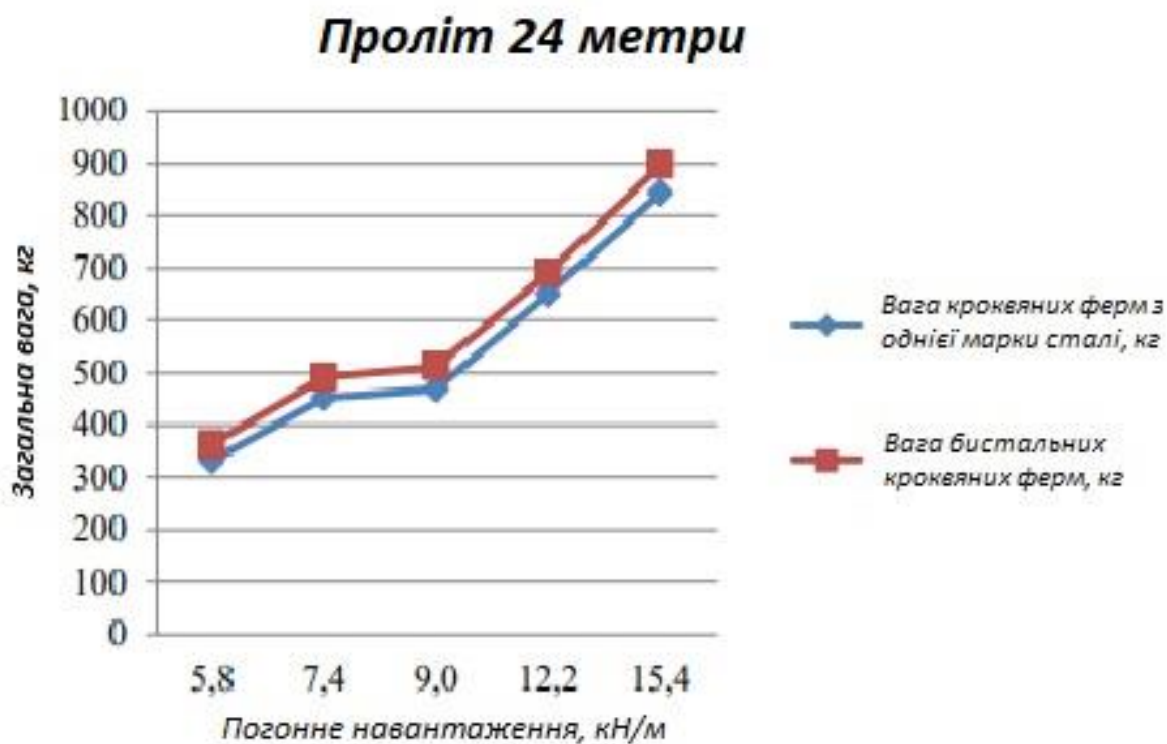


Рисунок 3.23 - Залежність металоємності кроквяної ферми від навантаження для прольоту 24 м при кроці 4 м.

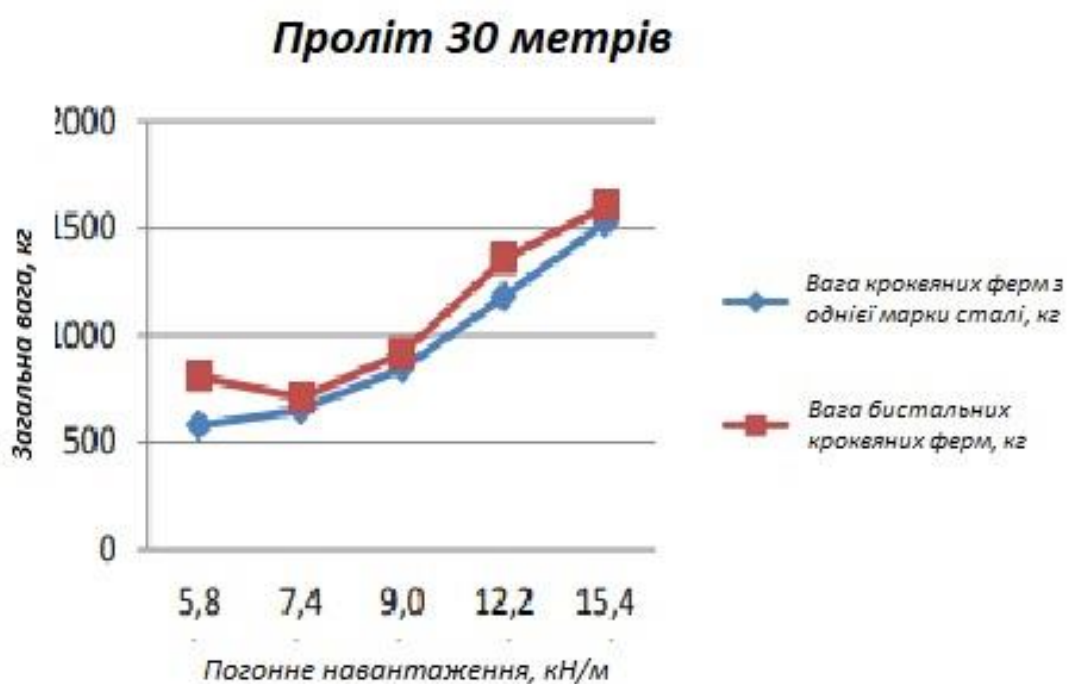


Рисунок 3.24 - Залежність металоємності кроквяної ферми від навантаження для прольоту 30 м при кроці 4 м

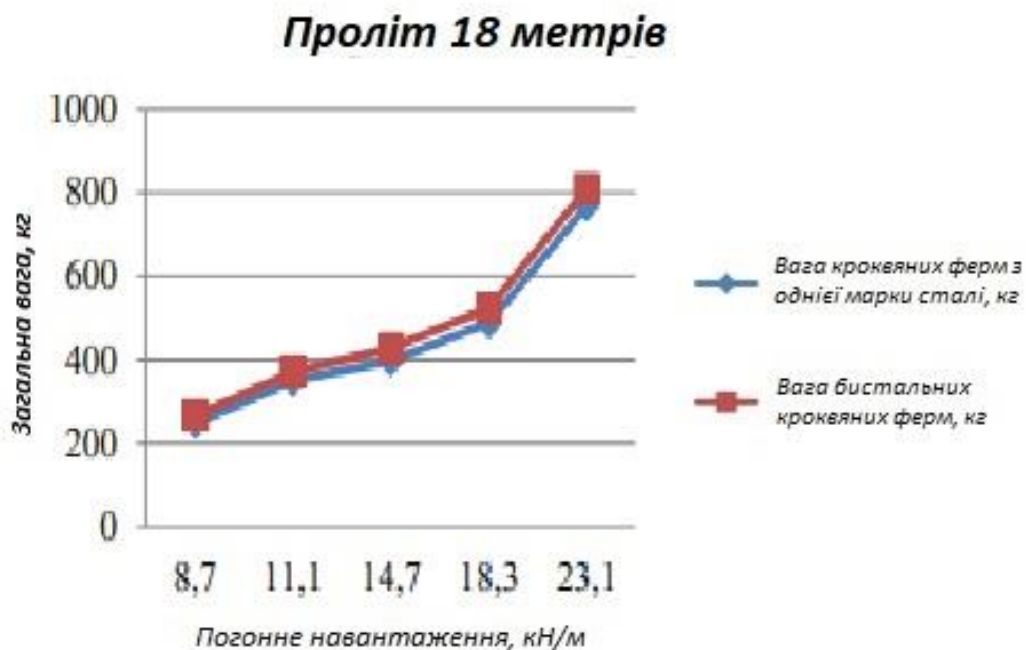


Рисунок 3.25 - Залежність металоємності кроквяної ферми від навантаження для прольоту 18м при кроці 6м

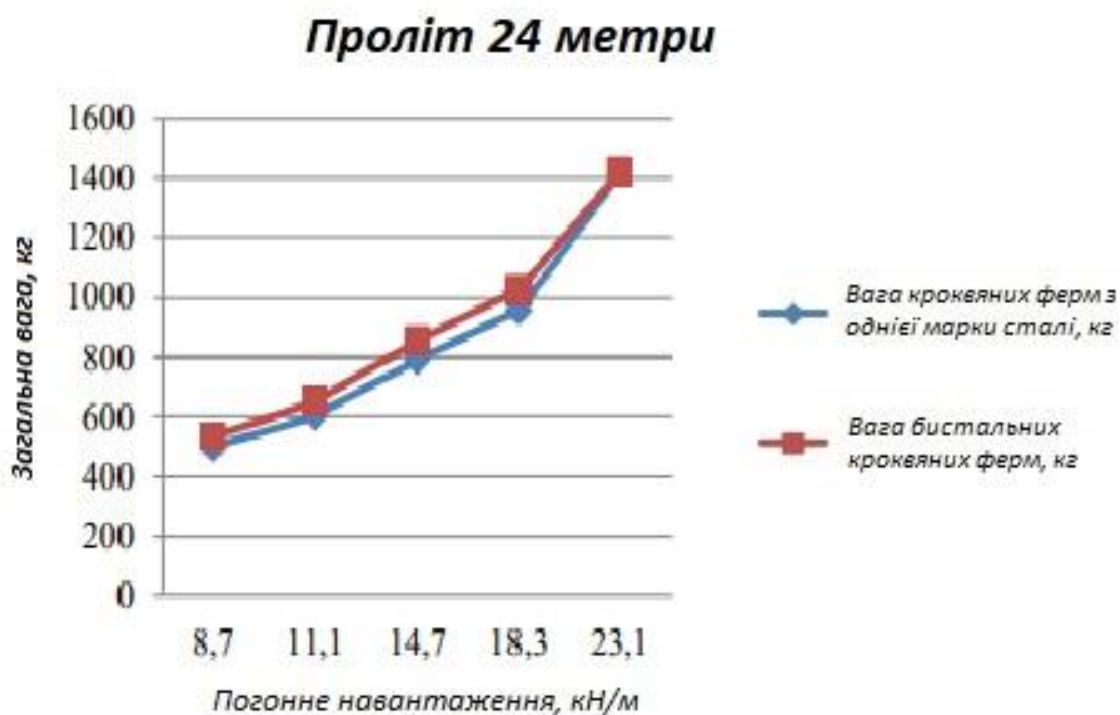


Рисунок 3.26 - Залежність металоємності кроквяної ферми від навантаження для прольоту 24 м при кроці 6 м

Проліт 30 метрів



Рисунок 3.27 - Залежність металоємності кроквяної ферми від навантаження для прольоту 30 м при кроці 6 м

3.3.2 Порівняльний аналіз зміни металоємності кропильних ферм від їх кроку

За результатами розрахунків загальної ваги кроквяних ферм залежно від кроку несучих конструкцій покриття будівлі можна зробити проміжний висновок. Складемо таблицю для одного осередку будівлі прольотом 18 метрів, у якій відобразимо масу всіх елементів покриття. Врахуємо, що при кроці кроквяних ферм 4 метри відпадає потреба у прогонах, тому покрівельні панелі укладаються безпосередньо на верхній пояс ферми. Але для кроку 4 метри з'являється потреба в підкроквяних конструкціях, на які спиратимуть кроквяні ферми.

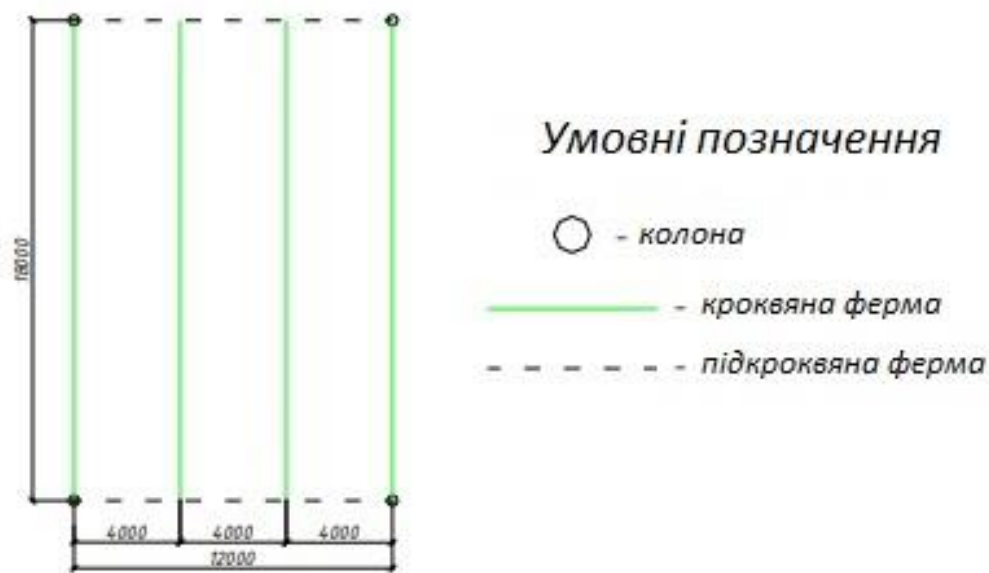


Рисунок 3.28 - Схема осередку будівлі з кроком кроквяних ферм 4 м

З рисунка видно, що конструкція покриття складається з двох підкроквяних ферм прольотом 12 метрів і чотирьох кроквяних ферм прольотом 18 метрів, на які укладається покрівельне покриття (склад покрівлі з таблиці 1.2 даної роботи).

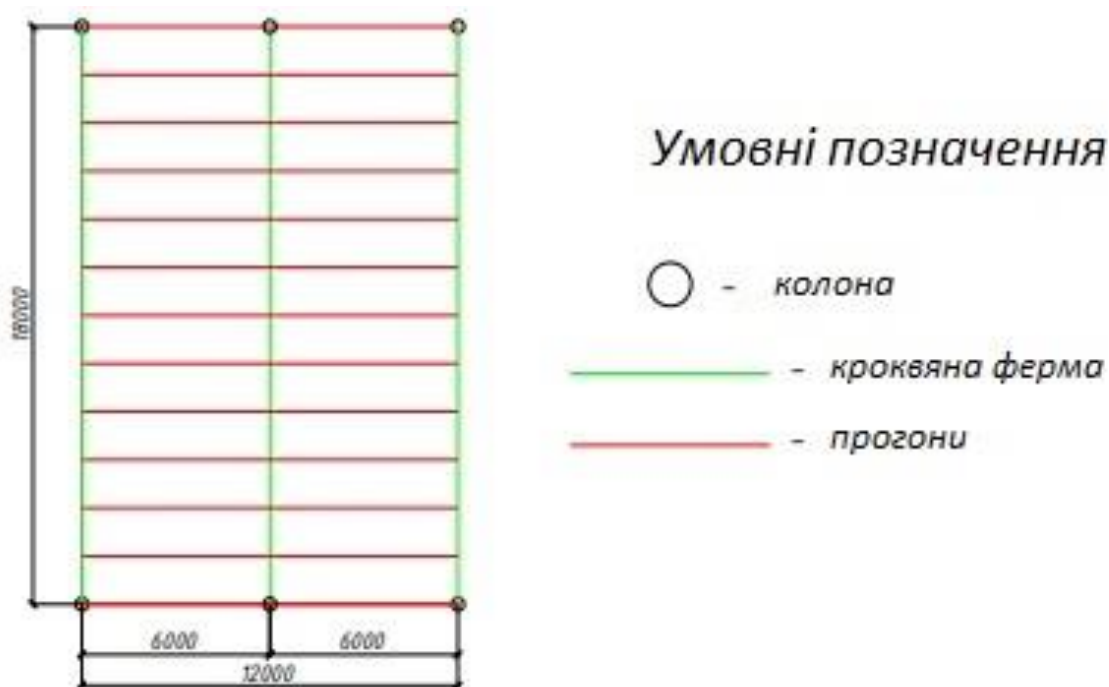


Рисунок 3.29 - Схема ячейки здания с шагом стропильных ферм 6 м

На рисунку 3.29 несучі конструкції покриття - три кроквяні ферми прольотом 18 метрів і 26 прогонів завдовжки 6 метрів, що укладаються на верхній пояс ферми через 1,5 метра. Склад покрівельного покриття з таблиці 1.2 цієї

роботи.

Таблиця 3.20 - Порівняльний аналіз альтернативних варіантів вирішення кроквяних ферм при кроці 4 та 6 метрів

Крок кроквяних ферм 4 м		Крок кроквяних ферм 6 м	
Найменування конструкції покриття	Маса конструкції, кг	Найменування конструкції покриття	Маса конструкції, кг
Кроквяні ферми $l=18м^*$	1792	Кроквяні ферми $l=18м^*$	2430
Підкроквяні ферми $l=12м$ трикутні гратчасті (орієнтовно)	1318	Прогони $l=6м$ (орієнтовно)	2808
Конструкція покрівельного покриття	100	Конструкція покрівельного покриття	100
Разом:	3210	Разом:	5338

*Ферми прольотом 18 метрів бістальні при тах навантаженні для V снігового району

За результатами, отриманих у таблиці 20, можна дійти невтішного висновку, що загальна металоемкість конструкцій покриття будівлі знизилася при кроці 4 м на 35-40% на відміну металоемності при кроці кроквяних ферм 6 м.

3.3.3 Порівняльний аналіз альтернативних варіантів

У даному підрозділі проведемо порівняльний аналіз альтернативних варіантів кроквяних ферм. Для рівносильного порівняння використовуватимемо кроквяні бістальні ферми прольотами 18, 24, 30 метрів при кроці несучих конструкцій 6 метрів при погонному навантаженні, що дорівнює 21,3 кН/м:

1. Серії кроквяних ферм прольотами 18, 24 і 30 м з ухилом 1,5% одиночних куточків, розробленої в даній роботі.

2. Серії сталеві конструкції покриттів виробничих будівель із замкнутих гнutoзварних профілів прямокутного перерізу прольотом 18, 24 та 30 м з ухилом

10.

3. Серії сталеві конструкції покриттів одноповерхових виробничих будівель з фермами з парних куточків. Покриття прольотами 18, 24, 30 та 36 м із застосуванням залізобетонних плит та сталевих профільованого настилу.

Таблиця 3.21 - Порівняльний аналіз альтернативних варіантів при навантаженні для V снігового району

Проліт кроквяних ферм, м	Вага ферм із одиночних куточків, кг	Вага ферм із прямокутних труб серії, кг	Вага ферм із парних куточків, кг
18	810	861	1186
24	1420	1462	2250
30	2439	2608	3357

Металоемність кроквяних ферм із одиночних куточків для прольотів 18, 24 та 30 метрів нижче, ніж у кроквяних ферм із гнutoзварних труб серії та традиційних кроквяних ферм із парних куточків:

1. Кроквяні ферми з одиночних куточків ефективніші за ферми з гнutoзварних труб серії на 6-7%.
2. Кроквяні ферми з одиночних куточків ефективніше ферм з парних куточків на 27-37%.

Для достовірнішого порівняльного аналізу альтернативних варіантів необхідно розглянути їх переваги та недоліки.

Недоліком ферм з парних куточків є їхня підвищена металомісткість, що пояснюється відносно малою раціональністю перерізів з парних куточків при роботі їх на стиск, а також - наявністю фасонки і з'єднувальних прокладок, які призводять до збільшення додаткових складальних одиниць та протяжності зварних швів, а загалом – до збільшення трудомісткості виготовлення та вартості конструкцій ферм.

Дуже ефективні ферми з прямокутних та квадратних труб прольотом 18, 24 та 30 м. Ферми із замкнутих гнutoзварних профілів проектується із вузлами без фасонки. Кути примикання розкосів до пояса повинні бути не менше 30 °, у цьому випадку забезпечується щільність примикання розкосу до пояса.

Для зручного розташування розкосів у вузлах іноді зміщують центрування стрижнів з осі пояса. Ці ексцентриситети в розрахунку не враховуються, якщо величина усунення не перевищує 0,25 висоти перерізу пояса. Якщо ексцентриситет більший за цю величину, то вузловий момент сприймається поясом і його необхідно визначати.

Переваги даного виду ферм:

- у гнутозварних профілях відносно великі радіуси інерції, вони добре працюють на крутіння та стійкість, більш ефективно використовується метал, знижується матеріаломісткість;

- гнутозварні профілі більш стійкі до корозії. Їх застосування дуже ефективне для експлуатації у агресивному середовищі, т.к. внутрішня порожнина замкнута. Отже більш доступні для огляду та фарбування;

- безфасонне з'єднання вузлів ферми дає економію металу;

- простота виконання вузлів.

Ферми з одиночних куточків застосовуються у покриттях будівель з агресивним середовищем. Вони технологічніші, ніж ферми з парних куточків. Вузли ферм можуть виконуватися з фасонками та без них. З'єднання стрижнів у вузлах здійснюють на зварюванні або болтах. Болтове з'єднання зазвичай застосовується для ферм, що перевозяться подетально в райони з поганими дорогами.

Особливістю ферм із одиночних куточків є виникнення у вузлах згинальних моментів від несиметричності перерізів. Несиметричність веде до усунення поздовжніх сил від центральних осей убік полиць, від різних за величиною жорсткостей стрижнів, з'єднаних у вузлі.

Основна перевага цих видів ферм:

- менша кількість елементів;
- підвищена корозійна стійкість відкритих перерізів елементів;
- менша трудомісткість і металомісткість, ніж у традиційних фермах із парних куточків. Раціональним вважається застосування ферм із одиночних

куточків у покриттях промислових будівель при кроці ферм 4 м. Профільований лист прикріплюється до верхнього пояса ферми, забезпечуючи цим жорсткість диска покриття та виключаючи елементи зв'язків;

- скорочення трудомісткості виготовлення на 30-40% на відміну від ферм із парних куточків;

- зниження металомісткості.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Після виконаних розрахунків автоматизованим та неавтоматизованим методами можна зробити висновок, що розбіжності у результатах незначні. Дані похибки є допустимими і позначається загальної міцності і стійкості, тобто. на роботі конструкції загалом.

2. За результатами конструювання трьох варіантів вузлів - зварних, болтових і заклепкових перевагу можна віддати зварним і болтовим з'єднанням, які є найбільш технологічними, простими у виготовленні. Зварні з'єднання легких будівельних конструкцій потребують якісних зварних швів, які можна виготовити лише у заводських умовах, де працюють зварювальники високої кваліфікації. Але для заводських конструкцій, що виготовляються у великих кількостях, зварне з'єднання вузлів є ефективним. На відміну від зварних з'єднань, болтові з'єднання можна здійснити в умовах будівельного майданчика, але відрізняються високою вартістю.

3. Таким чином, види з'єднань вузлів кроквяних ферм з одиночних куточків різноманітні. Застосування якогось певного виду залежить від багатьох факторів, а саме можливості проектування, виробництва, виготовлення тощо, які безпосередньо пов'язані з економічною ефективністю.

4. Результат дослідження показав, що загальна металомісткість конструкцій покриття будівлі знизилася при кроці 4 м на 35-40% на відміну від металомісткості при кроці кроквяних ферм 6 м.

5. Металоємність ферм безпосередньо залежить від навантаження і прольоту ферм - при збільшенні навантажень або прольотів ферм, збільшуються перерізи.

6. Перетин елементів решітки бістальних ферм збільшується в середньому на 8-10% на відміну від ферм із застосуванням сталі однієї марки для поясів та елементів решітки. Отже збільшується загальна маса кроквяної ферми.

7. Прокат зі сталі марки С255 економічніший за сталі марки С345-3 на 5-6%. Тому виготовлення ферм із сталей різних марок, де для поясів і опорних розкосів

застосовується високоміцна сталь, а інших елементів решітки - сталь звичайної міцності, ефективніше з економічних міркувань.

8.В результаті порівняння кроквяних ферм прольотами 18, 24 та 30 метрів з альтернативними варіантами, такими як фермами з прямокутних та квадратних профілів та з традиційними фермами з парних куточків вийшло, що:

- Кроквяні ферми з одиночних куточків ефективніші за ферми з гнutoзварних труб серії на 6-7%.

- Кроквяні ферми з одиночних куточків ефективніше ферм з парних куточків на 27-37%.

9. Економічна ефективність відкритих профілів обумовлена високою вартістю замкнених профілів. Співвідношення між вартістю круглих труб (суцільнотягнутих і зварних), прямокутних гнutoзварних профілів, профілів з двох прокатних куточків або швелерів відповідно дорівнюють: (153. 136): (150... 132): (120.115)%. Тут за 100% прийнято вартість профілів із прокатних куточків.

10.Позитивними якостями ферм із одиночних куточків є зменшення кількості деталей, що зменшує трудомісткість виготовлення ферм; відсутність щілин та зазорів знижує трудомісткість нанесення корозійного захисту та підвищує стійкість проти корозії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Strengthening Techniques of Steel Structure: An Overview Md. Mofizul Islam, Rubieyat Bin Ali, Moushtakim Billah Department of Civil Engineering, Bangladesh University of Engineering & Technology, Dhaka - 1000, Bangladesh, January 2019, 13 p. URL: <http://www.worldscientificnews.com/wp-content/uploads/2018/11/WSN-118-2019-181-193.pdf> (дата звернення: 01.10.24)
2. Strengthening Techniques: Code-Deficient Steel Buildings, Konstantinos Daniel Tsavdaridis / Published In book: Encyclopedia of Earthquake Engineering, August, 2015. 26p. URL: https://www.researchgate.net/publication/266851226_Strengthening_Techniques_Code-Deficient_Steel_Buildings (дата звернення: 10.12.24)
3. Savyovsky, V., Solovey, D., Ovchinnikov, O., Gres, I. (2016). Technological features of the replacement of floors in specific reconstruction conditions. Urban planning and territorial planning. Issue 59, P.389-396.
4. Tarja A. Generalized lifetime state design of structures / A. Sarja // Proc. of the 2nd Intern. Conf., Lifetime-Oriented Design Concepts, ICDLOS. Germany: Ruhr-University Bochum, 2004. P. 51 – 60.
5. Design of composite steel and concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design. EN 1994-1-2 (2005): Eurocode 4: Brussels. 2004, November. 109 p
6. Dai, X.H. A numerical study on the effect of concrete infill and intumescent coating to fire-resistant behaviour of stub elliptical steel hollow sections under axial compression / X.H. Dai, D. Lam // Advanced Steel Construction, 2014 Vol. 10, No. 3. pp. 310-324.
7. Kaczarowski F., Kalisz H. Stosowanie betonow natryskowych w robotach remontowych. Inzynieria i Budownictwo, 6, 1993. P. 222 – 224.
8. Belytscko, T., Liu, W., Moran, B. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures. J Wiley & Sons, 2000. ISBN 0-948-749-261.
9. Bonet, J., Wood, R. Nonlinear Continuum Mechanics for Finite Element Analysis. Cambridge University Press, 1997. ISBN 0-521-57272-X.

10. Chrysaphinou, O. Multi-state reliability systems under discrete time semi-Markovian hypothesis [Text] /O. Chrysaphinou, N. Limnios, S. Malefaki //IEEE Trans. on Reliability. 2013. Vol. 60, № 1. P. 80–87.

11.ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі Зміною № 1

12. ДСТУ Б В.2.6-199:2014 Конструкції сталеві будівельні. Вимоги до виготовлення.

13. ДСТУ ISO 4287:2012 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Терміни, визначення понять і параметри структури (ISO 4287:1997, IDT + ISO 4287:1997/Cor 1:1998, IDT + ISO 4287:1997/Cor 2:2005, IDT). 3 поправками.

14.ДСТУ 9273:2024 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість

15. ДСТУ 8768:2018 Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент

16.ДСТУ EN 10034:2006 Двотаври сталеві нормальні та широкополичні з паралельними гранями полиць. Допуски на розміри й форму (EN 10034:1993, IDT)

17.ДСТУ ISO/TR 25901-1:2024 Зварювання та споріднені процеси. Словник термінів. Частина 1. Загальні терміни (ISO/TR 25901-1:2016, IDT)

18.ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі Змінами № 1 та № 2.

19.ДСТУ Б В.3.1-2:2016 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд

20.ДСТУ-Н Б А.3.1-16:2013 Настанова щодо виконання зварювальних робіт при монтажі будівельних конструкцій

21. ДСТУ EN 10219-1:2009 Профілі порожнисті зварні холодного формування з нелегованих і дрібнозернистих сталей для конструкцій. Ч.1

22. ДСТУ EN 10025-1:2007 Вироби гарячекатані із конструкційної сталі. Ч.1 Технічні умови постачання (EN 10025-1:2004, IDT); Технічні умови постачання (EN 10219-1:2006, IDT);

23. ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Прогини і переміщення. Вимоги проектування

24. ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 1. Ручне дугове зварювання, зварювання в захисному газі, газове зварювання, TIG - зварювання та променеве зварювання сталей (EN ISO 9692-1:2013, IDT).

25. Методика обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів (Наказ Міністерства розвитку громад та територій України №65 від 28.04.2022р.).

26. Савйовський В. В. Реконструкція будівель і споруд: навч. посіб. Київ: Видавництво Ліра-К, 2019. 320 с.

27. Семко О. В. Імовірнісні аспекти розрахунку стале залізобетонних конструкцій: монографія / Олександр Володимирович Семко Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2004. 320 с.

28. К. Ф. Калафат, А. С. Білик, М. А. Біляєв, Е. А. Ковалевська Розрахунок сталевих конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 3. Практичний посібник до ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010, Київ, УЦСБ, 2016, 79с.

29. Валовой О.І., Еременко О.Ю. Вплив полімерних матеріалів на напружно-деформований стан зони контакту при підсиленні конструкцій наросуванням. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць. Рівне: 2008. Вип. 17. С. 411 – 417.

30. Семко О. В. До аналізу ризиків помилкової діагностики при обстеженні несучих будівельних конструкцій / О. В. Семко, О. П. Воскобійник // Сб. науч. труд.: Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування. Дніпро, ПГАСА, 2008. № 47. С. 573–578.

31. Інкін О.В. Іженерні споруди : навч. посіб. / О.В. Інкін ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : НТУ «ДП», 2021. 219 с.

32. Отрош, Ю.А. Комплекс взаємопов'язаних заходів щодо визначення параметрів напружено-деформованого і технічного стану конструкцій при різних впливах [Текст] / Ю.А. Отрош, А.П. Іванов, О.І. Голоднов // Зб. наук. праць Укр-

ін-ту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. Київ : Вид-во «Сталь», 2011. Вип. 8. С. 98-109.

33. Гілодо О.Ю. Металеві конструкції у питаннях та відповідях : навчальний посібник / О. Ю. Гілодо. Одеса : Астропринт, 2019. 120 с.

34. Барабаш М. С. Вплив закритичних навантажень на несучу здатність висотної будівлі / М. С. Барабаш, М. А. Ромашкіна, Т. С. Башинська // 116 Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 28-29 квітня 2015р: АВІА-2015. Т.4. Київ: НАУ, 2015. С. 25.60 – 25.63.

35. Малишев О. М. Технічне обстеження та нагляд за безпечною експлуатацією будівель та інженерних споруд : навч. посібник / О. М. Малишев, В. Д. Віроцький, О. О. Нілов. Київ : ДП «Головний навчально-методичний центр», 2007. 708 с.

36. Купченко Ю.В. Ефективні особливості підсилення сталеві ферми комбінованим способом / Ю.В. Купченко, П.М. Сінгаївський, О.В. Лесечко // Збірник наукових праць «Сучасні будівельні конструкції з металу і деревини». – Вип. 22: Одеса: ОДАБА, «Зовнішнє рекламне сервіс», 2018. С. 24-27.

37. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні / [А.В. Перельмутер, В.М. Гордєєв, Є.В. Горохов та ін.] ; під ред. А.В. Перельмутера. Київ : Сталь, 2002. 166 с.

38. Єрмак З.Є. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з підсилення несучих елементів будівель при реконструкції металевих конструкцій (для студентів 4-5 курсів денної форми навчання спеціальностей ПЦБ, МБГ і ТОРiРБ). Харків: ХДАМГ, 2002. 61 с.

39. Пичугин С.Ф. Ветровая нагрузка на строительные конструкции / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько. Полтава, 2005. 342 с.

40. Савйовський В.В., Броневицький А.П. Реконструкція промислових будівель при їх ревіталізації. Нові технології в будівництві. №27-28, 2014. С.33-36.

41. Стороженко Л.І. Металеві конструкції: Навч. посібник / Л.І. Стороженко, В.А. Пашинський, С.Ф. Пічугін, Г.М. Трусов. Київ: НМК ВО, 1992.

172 с.

42. Хімічна корозія та захист металів : навчальний посібник / [П. І. Стоєв, С. В. Литовченко, І. О. Гірка, В. Т. Грицина]. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. 216 с.

43. Конкін В.М. Розрахунки на міцність та жорсткість при згинанні:[Навчально-методичний посібник] / В.М. Конкін, Б.М. Киркач, С.Ю. Погорілов, Н.В. Кравцова. Харків: НТУ «ХП», 2003. 80 с.

44. Тищенко О.М., Поздєєв С.В., Шналь Т.М., Рудешко І.В., Сідней С.О., Березовський А.І. Розрахунок сталевих конструкцій будівель і споруд згідно Єврокоду 3 і національних додатків України: Навчальний посібник // Тищенко О.М., Поздєєв С.В., Шналь Т.М., Рудешко І.В., Сідней С.О., Березовський А.І. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021. 171с.

45. Будівельні конструкції: навчальний посібник / авт.. кол. Т.М. Пащенко, О.О. Сліпич, І.Б. Дремова Київ : ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2015. 310 с.

46. Пермяков В.О., Нілов О.О., Шимановський О.В. і др. Металеві конструкції: Підручник / Під загальною редакцією В.О. Пермякова та О.В. Шимановського. Київ: Видавництво «Сталь», 2008. 812 с

47. Барабаш М.С., Козлов С.В., Медведенко Д.В. Комп'ютерні технології проектування металевих конструкцій. Київ: НАУ, 2012. 572 с.

48. Шингера Н. Статистична оцінка властивостей сталі ВСтЗпс на ділянці термічного впливу від зварного шва / Н. Шингера, Я. Ковальчук // XIV наук. конф. Тернопільського нац. тех. ун-ту ім. І. Пулюя, 27–28 жовт. 2010р. : тези доп. Тернопіль, 2010. С. 59.

49. Підсилення конструкцій та будівель: Навч. посібник / А.М. Пługін, С.В. Мірошніченко, І.Г. Корнієнко та ін.; За ред. А.М. Пługіна. Харків: УкрДАЗТ, 2012. Ч.1. 198с.

50. Прядко М. В. Обстеження та підсилення будівельних конструкцій промислових будівель : навч. посіб. для студентів спец. 192 "Будівництво та цивільна інженерія", галузі знань 19 "Архітектура та будівництво" усіх форм

навчання / Микола Володимирович Прядко, Ірина Миколаївна Руднєва, Юрій Миколайович Прядко ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. ; за заг. ред. Микола Володимирович Прядко. Київ : КНУБА, 2018. 331 с.

51. Мешічек В.В., Ройтман А.Г. Капітальний ремонт, модернізація та реконструкція житлових будинків: навч. посібник. Київ: СІ, 2005. 241 с.

52. Бліхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будівель і споруд: навч. посіб. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. 108с.

53. Pichugin S.F. Accidents features in construction / S.F. Pichugin, L.A. Klochko // Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Полтава : ПолтНТУ, 2019. Т. 1 (52). С. 91-101.

54. Підсилення конструкцій та будівель: Навч. посібник /. А.М. Пługін, С.В. Мірошніченко, І.Г. Корнієнко та ін.; За ред. А.М. Пługіна. Харків: УкрДАЗТ, 2012. 207 с.

55. Лівінський О. М., Хоменко О.Г., Терещук М. О., Любченко І.Г., Ратушняк Г. С., Єсипенко А. Д.. Металеві конструкції . Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : «МП Леся», 2018. 306 с.