Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

“ Допустити до захисту”

Зав. кафедри БДМБ докт. техн. наук, проф.

_____ Володимир ЯЦУН

"____" _____ 2026 р.

Кваліфікаційна магістерська робота на тему:

" Комп’ютерне моделювання металевих конструкцій цеху машинобудівного підприємства з метою визначення оптимальних конструктивних параметрів "

Виконав: здобувач

групи БІ 25М

спеціальності G19 "Будівництво та

цивільна інженерія”

_____ Максим ЧАЛАПЧІЙ

"__"_____2026 р.

Керівник кваліфікаційної магістерської

роботи,

к.т.н., професор

_____ Владислав НАСТОЯЩИЙ

"_____"_____2026 р.

Кропивницький

2026

Підписано КЕП
Центральноукраїнський національний технічний університет
Чалапчій Максим Павлович
Сертифікат: 18DF2C9B93CEA2040400000062265F006DE87D06
Дійсний з 26.11.2026 23:02:11 по 26.11.2027 23:02:10

Центральноукраїнський національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА БУДІВЕЛЬНИХ, ДОРОЖНІХ МАШИН І БУДІВНИЦТВА
ОСВІТНЬО-КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ РІВЕНЬ МАГІСТР
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ G19 "БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ ",
ОСВІТНЯ ПРОГРАМА " БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ "
ОСВІНІЙ РІВЕНЬ "МАГІСТР"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Проф. Яцун В.В.
_____
"____" _____2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Чалапчію Максиму Павловичу
(ПРІЗВИЩЕ, ІМ'Я, ПО БАТЬКОВІ)

Тема проекту " Комп'ютерне моделювання металевих конструкцій цеху машинобудівного підприємства з метою визначення оптимальних конструктивних параметрів"

Керівник проекту к.т.н. проф. Настоящий Владислав Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "___"____2026 року №___

2. Стрк подання студентом проекту 1 грудня 2026р.

3. Вихідні дані до проекту

1. Район будівництва – м Луцьк.
2. Об'єкт дослідження – металева ферма каркасу цеху ремонту військової техніки.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

1. Обгрунтування об'ємно-планувального та конструктивного рішеннябудівлі.
2. Аналітичне дослідження напруженого й деформованого стану металевої ферми каркасу будівлі цеху , комп'ютерне моделювання ферми в середовищі САПР «Solid works» визначення перерізів, вибір та проектування оптимального варіанту металевої ферми.
4. Розробка заходів з охорони праці

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) .

1. Генеральний план. 2.Розрахукові схеми та модель металевого каркасу, що досліджується.
3. Результати досліджень металевої ферми в середовищі Solid works.
4. Металевий каркас будівлі та фундаментів
5. Креслення оптимізованої конструкції металевої ферми.

Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Дослідницький	к.т.н. проф. Настоящий В.А.		
Охорона праці	к.т.н. доцент Лізунков О.В..		

Д2. Дата видачі завдання 1.09 2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	приміт ка
1.	Обґрунтування об'ємно-планувального та конструктивного рішення будівлі.	10 09.-14 09.	
2.	Моделювання та дослідження несучих конструкцій, визначення перерізів	15 09.-27 09.	
3.	Проектування будівельних конструкцій	28 09.- 7 10.	
4.	Розробка архітектурно-будівельних креслень	8 10.-19 10.	
5.	Розробка креслень з дослідницького розділу	20 10.-2 11.	
6.	Розробка креслень оптимізованих металевих конструкцій	3 11-19. 11.	
Д 2.	Розробка заходів з охорони праці.	20 11.-22 11.	
8.	Оформлення альбому документів.	23 11.-1 12.	

Здобувач _____ Чалапчій М.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Настоящий В.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ.

Чалапчій М. П. . – Комп’ютерне моделювання металевих конструкцій цеху машинобудівного підприємства з метою визначення оптимальних конструктивних параметрів. Кваліфікаційна робота здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю G19 "Будівництво та цивільна інженерія” – Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький. 2026.

Об’єктом дослідження магістерської роботи є конструктивні рішення металевих несучих конструкцій ремонтного цеху військової техніки. Основним завданням роботи був вибір оптимальних варіантів поперечних перерізів елементів покрівельних ферм.

Після визначення розрахункових навантажень було проведено аналітичний розрахунок ферми з використанням методу вирізання вузлів та методу Ріттера. Для перевірки достовірності отриманих результатів і оцінювання доцільності застосування вибраних профілів було створено комп’ютерну модель ферми у програмному комплексі SolidWorks та встановлено, що значення внутрішніх зусиль у стрижневих елементах є близькими до величин, отриманих аналітичним шляхом.

Проведений аналіз показав, що мінімальний коефіцієнт запасу міцності двох стрижневих елементів становить 1,05 за нормативно необхідного значення 1,2.

Для усунення виявленої невідповідності запропоновано замінити розкоси, виготовлені з кутників 70×70×6 мм, на профілі 70×70×7 мм. У результаті такого конструктивного вдосконалення коефіцієнт запасу міцності збільшився до 1,26, що забезпечує виконання встановлених вимог міцності.

Комп’ютерне моделювання декількох конструктивних варіантів виготовлення елементів ферми, зокрема зі зварних стрижневих елементів та листового металу виявило локальне підвищення напружень у деяких деталях ферми із листового металу. Для усунення надмірної концентрації напружень

запропоновано вдосконалити геометрію окремих деталей шляхом збільшення розмірів закладних елементів і виконання фасок на їхніх кутах. Повторне дослідження напруженого стану після внесення зазначених змін підтвердило відповідність конструктивних елементів умовам міцності.

З метою її облегшення ферми і прискорення підбору профілів прийнято рішення застосувати для аналізу ШІ Gemini .

За результатами комп’ютерного моделювання ферми запропонованої ШІ Gemini та сформованої з елементів квадратного трубчастого профілю, встановлено, що вибрані перерізи забезпечують необхідну несучу здатність і допустимі значення деформацій відповідно до вимог першої та другої груп граничних станів. Згідно з аналітичними розрахунками, маса одного відправного елемента (напівферми) традиційного конструктивного виконання становить 1194 кг. Натомість використання профільних труб дало змогу зменшити масу аналогічного виробу до 495 кг, що більш ніж удвічі менше порівняно з конструкцією, виконаною із кутників і таврових профілів. Таким чином, запропоноване конструктивне рішення забезпечує зниження матеріаломісткості.

Розроблено заходи з охорони праці. Виконано розрахунок заземлення стенда для виправлення деформованих деталей.

Пояснювальна записка містить 133 с . 33 рис. 4 таблиці, 8 джерел

ABSTRACT.

Chalapchii M. P. – Computer Modeling of Metal Structures for a Machine-Building Plant Workshop to Determine Optimal Structural Parameters. Master's Thesis in the field of study G19 "Construction and Civil Engineering" – Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2026.

The object of this master's thesis is the structural design of load-bearing metal elements for a military equipment repair workshop. The primary objective was to select optimal cross-sections for the members of the roof trusses. Following the determination of design loads, an analytical calculation of the truss was performed using the method of joints and the Ritter method (method of sections). To verify the accuracy of the results and assess the suitability of the selected profiles, a computer model of the truss was created using the SolidWorks software suite. It was determined that the internal forces within the truss members closely align with the values obtained through analytical calculation.

The analysis revealed that the minimum factor of safety for two of the members is 1.05, which falls below the required standard value of 1.2. To address this discrepancy, it is proposed to replace the diagonal members—currently made of 70×70×6 mm angle sections—with 70×70×7 mm profiles. As a result of this design improvement, the factor of safety increased to 1.26, ensuring compliance with established strength requirements.

Computer modeling of several design options for the truss elements—specifically using welded bar elements versus sheet metal—revealed localized stress increases in certain sheet-metal components. To eliminate excessive stress concentrations, it was proposed to refine the geometry of specific parts by increasing the dimensions of embedded elements and adding chamfers to their corners. A subsequent analysis of the stress state confirmed that the structural elements met the required strength criteria.

To reduce the weight of the truss and accelerate the selection of profiles, it was decided to utilize the Gemini AI for analysis. Based on the computer modeling of the truss—generated by the Gemini AI and composed of square hollow structural sections—it was determined that the selected cross-sections provide the necessary load-bearing capacity and keep deformations within permissible limits, in accordance with the requirements for the first and second limit states.

Analytical calculations indicate that the mass of a single transportable unit (half-truss) using a traditional design is 1,194 kg. In contrast, the use of hollow structural sections reduced the mass of the corresponding unit to 495 kg—less than half the weight of a design based on angle and T-profiles. Thus, the proposed design solution effectively reduces material consumption.

Occupational health and safety measures have been developed. The grounding for a stand used to straighten deformed parts has been calculated.

The explanatory note contains 133 pages, 33 figures, 4 tables, and 8 sources.

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	кількість	Примітки
				Документація загальна		
				Знову розроблена		
А4			КММК 2632 ПЗ	Пояснювальна записка	9	
				Документація з		
				Архітектурно-		
				будівельного розділу		
				Знову розроблена		
А1			КММК 2632 АБ 01	Генеральний план,	1	
				Ситуаціна схема		
				Фасадна розгортка по А-А		
				Фасадна розгортка по Б-Б.		
А1			КММК 2632 АБ 02	Фасад 3-19. Розріз 1-1	1	
				Розріз 2-2. План покрівлі.		
А1			КММК 2632 АБ 03	План на відм.0,000. Вузли	1	
				Документація з		
				Конструктивно –		
				дослідницького розділу		
				Знову розроблена		
А1			КММК 2632 ДР01	Комп'ютерне моделювання ферми	5	
А1			КММК 2632 ДР02	Використання ШІ Gemini для	1	
				оптимізації конструкції		
				металевої ферми		

Зм	лист	№ документа	Підпис	дата	КММК 2632 КР		
Розробив		Чалапчій			Компютерне моделювання металевих конструкцій цеху машинобудівого підприємства Відомість кваліфікаційної роботи	Стадія	Лист	Листів
Перевірив.		Настоящий				Д	1	2
						ЦНТУ гр..БІ 25 М		
Н. контр.		Дарієнко						
Затвердив.		Яцун						

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
А1			КММК 2632 КМ 01	План зв"язків. Розрізи		
			КММК 2632 КМ 02	Геометрична схема ферми Ф-1		
				Специфікація сталі		
А1			КММК 2632 КМ 03	Колона К-1		
А1			КММК 2632 КМЗ 01	Схема розташування елементів	1	
				фундаменту.		
				Переріз 1-1, А-А, 2-2, Б-Б, В-В.		
				Армування фундаменту.		
				Інженерно- геологічний розріз.		
				Специфікація .		

Зм	Лис	№ документа	Підпис	Дата	КММК 2632 КР	Лист 2

Вступ

Будівництво цеху машинобудівного підприємства, призначеного для ремонту важкої військової техніки передбачено в місті Луцьк, так як провідною галуззю Луцького промислового вузла є машинобудування. Цех будується в промисловій зоні. Раціональність будівництва зумовлена тим, що на території забудови знаходиться цехи заводу комунального машинобудування, які будуть тісно пов'язані з об'єктом будівнцтва.

В даній кваліфікаційній роботі складовою частиною є науково-дослідницька робота на тему: " Визначення оптимальних конструктивних параметрів перерізів ферм".

Мета дослідження. Оцінити доцільність використання обраних сортаментних профілів ферм покрівлі цеху по ремонту військової техніки за допомогою сучасних методів автоматичного проектування з використанням програмного комплексу SolidWorks.

Метою роботи є зменшення маси ферми зі збереженням допустимих параметрів стійкості та міцності металоконструкцій цеху по ремонту військової техніки в м. Луцьк та порівняння розрахунків ферми з прямими та похилими поясами.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Обрана тема проектної роботи відповідає профілю спеціальності "Будівництво та цивільна інженерія", а дослідження й нормування навантажень на будівлі є одним з напрямів наукової роботи кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва.

Задачі дослідження:

- обґрунтувати й розробити архітектурно-конструктивне рішення об’єкта;
- визначити розрахункові значення навантаження на металеві конструкії ;
- запроектувати кроквяну ферму з урахуванням дії технологічних іклім
- проаналізувати напружено-деформований стан елементів сталевої ферми аналітичними розрахунками та в середовищі САПР «Solid works 2013»;
- використати САПР «Solid works 2013» для визначення нових конструктивних рішень і вибору варіантів поперечних перетинів металевої ферми покрівлі цеху по ремонту видобувного та збагачувального обладнання в місті Луцьк при збереженням допустимих параметрів стійкості та міцності.

Об’єкт дослідження – елементи сталевих конструкцій виробничогоприміщення цеху по ремонту військової техніки.

Предмет дослідження – визначення напружено-деформованого стану елементів сталевих конструкцій цеху по ремонту військової техніки.

Методи дослідження –аналітичні розрахунки та розрахунок в середовищі САПР «Solid works 2013» несучих сталевих конструкцій цеху по ремонту військової техніки

Практичне значення одержаних результатів:

- отримані уточнені розрахункові значення перерізів металевих ферм та запропоновані проектні рішення перекриття корпусу цеху по ремонту військової техніки з використанням ферм із зниженими масовими характеристиками.

1. АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ РОЗДІЛ.

1.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Ремонт важкої техніки належить до одиничного та дрібносерійного типу виробництва. Основна частина технологічних операцій виконується з дотриманням 2–3-го класів точності, тоді як для окремих деталей передбачена обробка за 4–7-м класами точності.

Схема технологічного процесу ремонтного виробництва складається із наступних основних операцій: прийом бойової машини в ремонт (приймається двосторонньою комісією: представник від військових і представник заводу. Додаються супроводжуючі технічні документи, що характеризують технічний стан машини, її наробок в технічних годинах. Комісією складається „Акт здачі-прийому" машини); зовнішня мийка бойової машини ; розбір бойової машини на агрегати і вузли; очистка і мийка деталей; дефектація деталей; ремонт деталей; комплектування деталей; складання вузлів і агрегатів; обкатка – випробування і покраска вузлів і агрегатів; загальна збірка; обкатка, випробування і покраска бойової машини ; здавання відремонтованих машин (агрегатів).

Потрібно мати на увазі, що процес ремонту машини чергується з виконанням різних транспорних операцій і операцій технічного контролю.

Перший етап – зняття приборів живлення і електрообладнання і відправлення бойової машини на площадку зберігання ремонтного фонду. Після зовнішньої мийки подають на пост попередньої розбірки, де знімають двигун, платформу, стекла, сидіння, паливний бак. Зняті частини направляють на відповідні пости для ремонту. Слідуючий комплекс робіт виповнюється в порядку підготовки бойової машини до повного розбирання і включає в себе повторну мийку, зливання палива, води і мастила. Виконання цих робіт суттєво впливає на умови праці при наступному розбиранні, якості ремонту і продуктивності.

Бойова машина, яка переміщується транспортером в подальшому поступає на пости повного розбирання. Всі зняті агрегати і вузли направляють на спеціалізовані дільниці (цехи) і пости для подальшого ремонту. Раму, яка залишилася в кінці розбирання миють і направляють в ремонт.

Другий етап – відновлення деталей і вузлів – основний вид робіт на ремонтному виробництві.

Збирання вузлів і агрегатів, як і відновлення деталей, являє собою важливу умову забезпечення необхідної якості ремонту при оптимальних виробничих затратах. Складність якісного слкадання при ремонті обумовлюється використанням на складанні деталей різних категорій. На складання деталі подаються комплектами. Складання двигунів роблять на поточних лініях, агрегатів – на спеціалізованих постах.

Випробування агрегатів і вузлів проводяться з ціллю перевірки якості їх збирання і відповідних вихідних характеристик вимог технічних умов на ремонт, а також для забезпечення попереднього приробітку рухомо спряжених деталей.

Фарбування відремонтованих агрегатів і вузлів виконується після випробування і усунення дефектів перед загальним складанням.

Фарбування корпусу і кабіни виконують відразу після відновлення . Після випробування і фарбування агрегатів і вузлів подають представнику відділу технічного контролю. Відремонтовані агрегати і вузли в подальшому направляють на загальне збирання бойової машини .

Третій етап – загальне складання. Воно проводиться із відремонтованих агрнгатів і вузлів на спеціалізованих постах або на поточних лініях. Після загального збирання бойової машини заправляють пальним і подають на випробування. Під час випробування виконують необхідні регулювання і усунення виявлених несправностей.

При виявленні під час випробування несправностей бойова машина направляють на пост усунення дефектів. Повністю справний бойова машина при необхідності підфарбовують і здають представнику відділу технічного контролю або безпосередньо замовнику.

Технологічний процес капітального ремонту відображаємо в технологічній схемі (рис 1.1).

ПРИНЦИПОВА СХЕМА ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ МАШИНИ

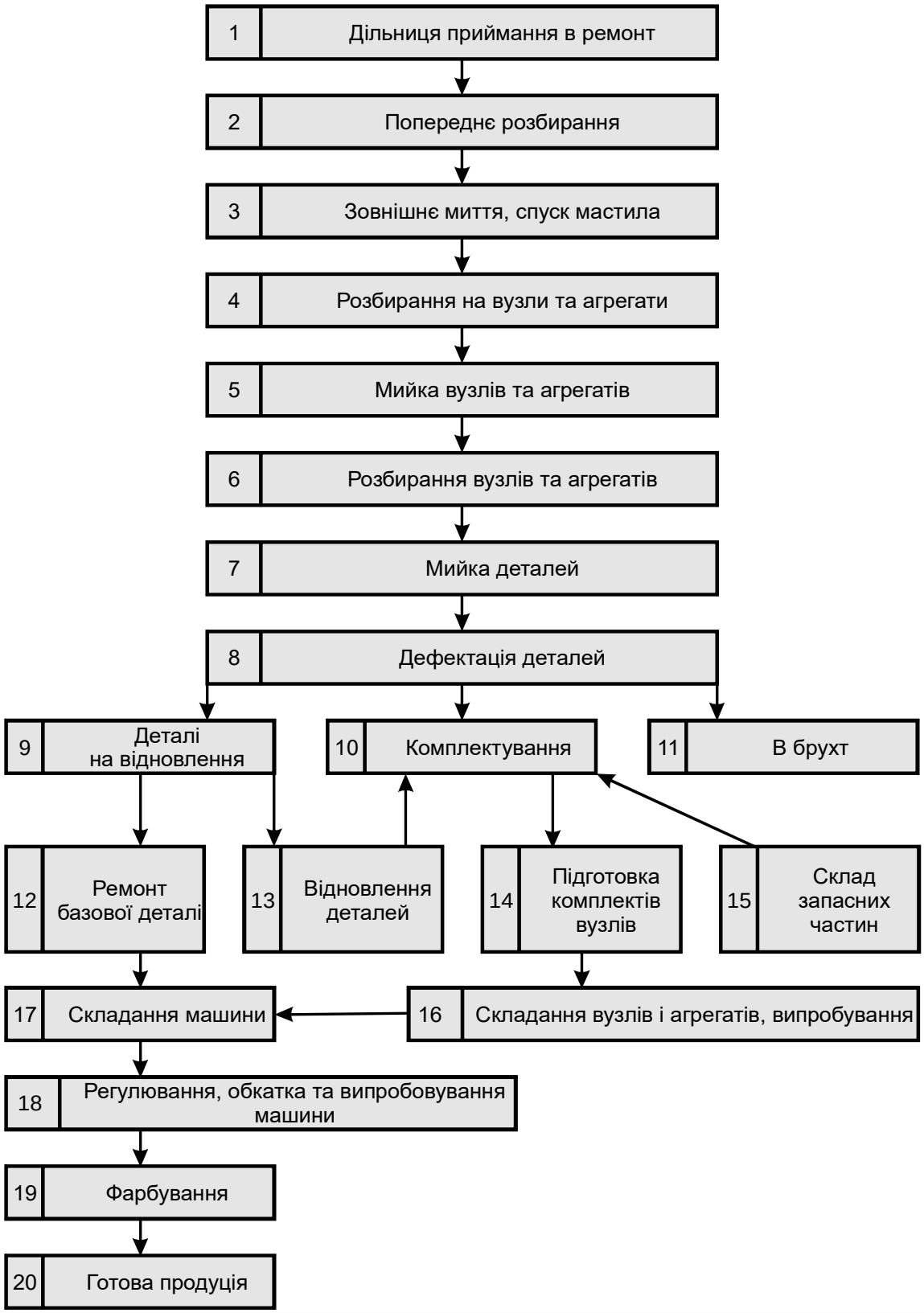


Рис. 1.1. Технологічний процес капітального ремонту.

Перевірка якості складальних робіт проводиться на спеціально обладнаному контрольному майданчику із застосуванням відповідних контрольно-вимірювальних приладів та пристроїв.

Для захисту готових виробів від корозійного впливу навколишнього середовища передбачено виконання попереднього ґрунтування та фарбування.

Нанесення лакофарбових матеріалів здійснюється за допомогою фарборозпилювачів із подальшим сушінням виробів у спеціальних камерах із підігрівом повітря.

Після завершення ремонтних робіт готові бойові машини своїм ходом переміщуються на спеціально відведений майданчик для зберігання готової продукції.

1.2. ОПИС ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНУ

Генеральний план підприємства являє собою сукупність технологічних, будівельних та архітектурно-планувальних рішень, які визначають взаємне розташування виробничих будівель, споруд і допоміжних об'єктів з урахуванням особливостей виробничого процесу та місцевих умов будівництва.

Під час розроблення генерального плану проєктом передбачено:

організацію раціональної послідовності технологічних процесів;

забезпечення обслуговування об'єктів, розташованих поблизу залізничних колій, за мінімальної загальної довжини залізничних шляхів;

улаштування автомобільних під'їздів до всіх об'єктів, у яких виконуються вантажно-розвантажувальні операції;

доцільне групування виробничих, допоміжних будівель і складських приміщень;

забезпечення максимально ефективного використання території підприємства та досягнення оптимальної щільності забудови.

Основою для розроблення генерального плану стало наявне розташування будівель і споруд на території підприємства з урахуванням положень ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова територій». Усі будівлі та споруди, передбачені проєктом, обладнуються під'їзними шляхами з твердим дорожнім покриттям.

Під час проєктування генерального плану ремонтного цеху враховано загальну планувальну структуру машинобудівного підприємства. Основними чинниками, що впливають на прийняті рішення, є заплановані обсяги виробництва та технологічні вимоги до організації виробничого процесу. Як найбільш доцільний варіант взаємного розташування виробничих об'єктів прийнято стрічкову схему планування цехів.

Відповідно до ДСП 3.3.1.038-99 машинобудівне виробництво характеризується відносно невеликою кількістю шкідливих виробничих викидів. За санітарною класифікацією підприємство належить до IV класу небезпеки. Для забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов передбачено санітарно-захисну зону шириною 80 м.

Територія, призначена для розміщення проєктованих об'єктів, знаходиться зі східного боку відносно основної території заводу.

Для забезпечення пожежної безпеки між будівлями та спорудами передбачені необхідні протипожежні відстані. Відстань між сусідніми цехами прийнята більшою за висоту найвищої з розташованих поруч будівель.

Проєктування внутрішньозаводських автомобільних доріг виконано відповідно до вимог ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги». Дорожня мережа забезпечує зручне та найкоротше сполучення між виробничими корпусами, складами й іншими об'єктами підприємства.

Ширина проїзної частини автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям становить 6 м. Загальна ширина дороги з урахуванням тротуарів і смуг зелених насаджень прийнята 26 м.

Для головної заводської магістралі передбачена загальна ширина 34 м, при цьому ширина проїзної частини становить 7 м з організацією одностороннього руху. Радіус заокруглення дорожнього полотна відповідно до ДБН В.2.3-4:2015, розділ 2, прийнятий рівним 12 м для доріг із шириною проїзної частини 7 м.

Залізнична колія на території заводу розміщується під кутом 30° відносно майданчика підприємства. Для організації залізничного транспорту прийнято тупикову схему, за якої всі колії, що ведуть до виробничих цехів і складських приміщень, завершуються тупиками. Зворотне переміщення вагонів здійснюється тими самими залізничними шляхами.

Архітектурно-планувальні рішення будівель і споруд, а також оформлення їхніх внутрішніх приміщень розроблені з урахуванням функціонального призначення об'єктів, специфіки виробництва, кліматичних особливостей місцевості та необхідного температурно-вологісного режиму робочих зон.

Для створення належних санітарно-гігієнічних умов і впорядкування території підприємства проєктом передбачено такі заходи:

виконання вертикального планування території;

облаштування внутрішніх автомобільних доріг;

організація систем водопостачання;

улаштування каналізаційних мереж;

озеленення території;

забезпечення зовнішнього електричного освітлення.

Горизонтальна прив'язка будівель на генеральному плані здійснюється за допомогою будівельної координатної сітки, утвореної квадратами. Її осі розташовані паралельно до основних осей будівель. Прив'язка складального цеху наведена на аркуші АБ 01 у таблиці горизонтальної та вертикальної прив'язок будівлі.

Для забезпечення відведення атмосферних опадів із поверхні території передбачено формування ухилів у напрямку водовідвідних споруд. Величина прийнятого ухилу становить 0,002.

Системи водопостачання та каналізації будівельного майданчика передбачено облаштовувати в процесі зведення об'єктів. Одночасно із цим заплановано будівництво необхідних очисних споруд.

Зовнішнє електричне освітлення території заводу забезпечується шляхом підключення освітлювальних приладів до джерел електроживлення, з'єднаних із трансформаторною підстанцією.

На генеральному плані підприємства передбачено розміщення таких основних об'єктів:

1. Цех ремонту важкої техніки.
2. Ковальський цех.
3. Деревообробний цех.
4. Склад деревини.
5. Котельня.
6. Пожежне депо.
7. Цех металевих конструкцій.
8. Ливарний цех.
9. Склад шихти.
10. Гараж.
11. Заводська лабораторія.
12. Медичний пункт.
13. Прохідна контора.
14. Головна контора.
15. Склад палива.
16. Пожежний резервуар.

1.3. ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНІ РІШЕННЯ

Будівля цеху ремонту військової техніки має прямокутну форму в плані. Її основні габаритні розміри становлять 108 м завдовжки та 72 м завширшки. За конструктивною схемою будівля належить до каркасного типу, причому основні несучі елементи запроєктовані з металевих конструкцій.

Виробничий корпус складається з трьох паралельних прольотів, ширина кожного з яких становить 24 м.

Для забезпечення переміщення важких деталей, вузлів та агрегатів у кожному прольоті передбачено встановлення двох мостових електричних кранів вантажопідйомністю 10 т кожний. Усі крани належать до режиму роботи 5К. Їхні конструктивні характеристики та параметри прийняті відповідно до вимог ДСТУ 2986-95 «Крани вантажопідіймальні».

Відведення атмосферних опадів із покрівлі будівлі здійснюється за допомогою внутрішньої водостічної системи. По периметру будівлі передбачено влаштування вимощення шириною 1,5 м.

Для забезпечення в'їзду транспортних засобів до виробничого приміщення передбачено встановлення воріт типу ПР-05-36.

1.4. КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ

У проєкті прийнято такі основні конструктивні елементи та будівельні конструкції:

1. Фундаменти. Для спирання сталевих колон каркаса передбачено влаштування монолітних залізобетонних фундаментів.

2. Колони. Несучі колони будівлі запроєктовані у вигляді сталевих ґратчастих конструкцій зі сталі класу С245 марки ВСт3сп6. Висотна відмітка низу несучих конструкцій становить 10,8 м.

3. Покриття. Несучою основою покриття складального цеху є металеві ферми, на які укладається сталевий профільований настил.

4. Стіни та скління. Зовнішні стіни передбачені з керамзитобетонних панелей розміром 1,2 × 6 м. Віконні прорізи мають дворядне стрічкове скління. Висота нижнього ряду становить 7,2 м, верхнього — 2,4 м. Проєктування сталевих

конструкцій передбачено відповідно до ДСТУ EN 1090-4:2019 «Виконання сталевих та алюмінієвих конструкцій».

5. Світлоаераційний ліхтар. У центральному прольоті будівлі передбачено встановлення світлоаераційного ліхтаря з металевим каркасом. Його конструктивне виконання прийнято відповідно до серії ПК-01-126, а конструкцію переплетень — згідно із серією ПР-05-67/84.

6. Ворота. Для автомобільного транспорту запроєктовано розпашні металеві ворота розміром 4,0 × 4,2 м відповідно до серії ПР-05-86, випуск 2.

Д2. Двері. У будівлі передбачено три типорозміри дверних блоків: 2,0 × 0,8 м; 2,0 × 1,0 м та 2,3 × 1,5 м. Їхні характеристики прийняті відповідно до ДСТУ EN 14351-1:2020.

8. Підлога. У виробничих приміщеннях передбачено бетонну підлогу товщиною 150 мм. Для термічного відділення прийнято спеціальне покриття з чавунних плит, укладених на бетонну основу.

9. Покрівля. Покрівля будівлі запроєктована скатною з ухилом 1,5 %. Її конструкція складається із захисного шару на бітумній мастиці із втопленим гравієм, чотиришарового гідроізоляційного килима, асфальтової стяжки, теплоізоляційного матеріалу, пароізоляції, сталевого профільованого настилу та прогонів.

10. Гідроізоляція. Для створення водонепроникного покриття передбачено використання чотирьох шарів руберойду.

11. Система в'язей. В'язі є невід'ємною частиною несучого каркаса будівлі та виконують функцію забезпечення просторової стійкості конструкцій. Основними завданнями системи в'язей є:

забезпечення необхідної жорсткості конструкцій покриття;

сприйняття та передавання вітрових і гальмівних навантажень.

Система в'язей взаємодіє з основними елементами металевого каркаса, забезпечуючи спільну роботу конструкцій та підвищуючи загальну просторову жорсткість будівлі.

1.5. ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ТА ВИРОБНИЧА САНІТАРІЯ

Під час проєктування виробничої будівлі передбачено комплекс заходів, спрямованих на забезпечення пожежної безпеки. Основною метою цих заходів є запобігання виникненню пожеж, обмеження поширення полум'я, а також створення безпечних умов для евакуації працівників і матеріальних цінностей у разі виникнення надзвичайної ситуації.

Для зменшення ризику виникнення та поширення пожежі насамперед визначають необхідний ступінь вогнестійкості будівель і встановлюють нормативні протипожежні відстані між окремими конструктивними блоками та спорудами. Необхідний ступінь вогнестійкості виробничої будівлі прийнято з урахуванням категорії виробництва за пожежною небезпекою, площі приміщень та наявності протипожежних перешкод.

З метою підвищення рівня пожежної безпеки на території підприємства передбачено функціональне зонування будівель і споруд. Воно полягає у групуванні об'єктів за їхнім виробничим призначенням та характеристиками пожежної небезпеки. Під час розміщення об'єктів також враховано напрямок переважаючих вітрів, унаслідок чого найбільш пожежонебезпечні споруди розташовуються з підвітряного боку відносно інших будівель.

Для забезпечення оперативного доступу пожежно-рятувальних підрозділів до всіх об'єктів передбачено облаштування під'їзних шляхів до кожної будівлі. Поблизу виробничих корпусів розташовуються пожежні гідранти. Взаємне розміщення будівель і споруд здійснено з урахуванням їхнього ступеня вогнестійкості та вибухопожежної небезпеки відповідно до вимог ДБН А.3.2-2-2009. Між об'єктами забезпечено необхідні протипожежні розриви та вільний доступ для проведення аварійно-рятувальних робіт.

Для створення безпечних і комфортних умов праці у виробничих приміщеннях проєктом передбачено комплекс санітарно-технічних заходів, важливе місце серед яких займає організація ефективної системи вентиляції та повітрообміну.

З метою недопущення перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин у повітрі робочої зони передбачено герметизацію технологічного обладнання, апаратури та трубопроводів. Джерела утворення шкідливих речовин максимально ізолюються від основних робочих зон. Безпосередньо біля обладнання, яке є джерелом виділення пилу, газів, парів та інших аерозолів, встановлюються місцеві витяжні вентиляційні пристрої.

Розміщення виробничих і допоміжних будівель на території підприємства здійснюється з дотриманням санітарно-гігієнічних вимог ДБН Б.2.2-12:2019. У приміщеннях, де виконуються технологічні операції з виділенням шкідливих речовин, передбачено підтримання зниженого тиску повітря. Це дає змогу запобігти поширенню забрудненого повітря до суміжних приміщень і забезпечити належний санітарний стан виробничого середовища.

1.6. АНТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ

Вибір способу захисту несучих та огороджувальних металевих конструкцій від корозії здійснюється з урахуванням агресивності внутрішнього й зовнішнього середовища ремонтного цеху. Оцінювання умов експлуатації проводиться на основі характеристик корозійної активності середовища та стійкості матеріалів, що застосовуються для захисту металевих елементів.

Технологічний процес ремонту металевих корпусів важкої техніки практично не супроводжується інтенсивним виділенням газоподібних речовин і вологи, які є одними з основних чинників розвитку корозійних процесів на відкритому повітрі, під навісами та всередині виробничих приміщень.

Разом із тим у процесі виробничої діяльності на території цеху можливе утворення певної кількості газоподібних домішок. Зокрема, концентрація вуглекислого газу не перевищує 1000 мг/м³, а сірководню — 3 мг/м³. За показниками агресивності газового середовища такі умови відповідають групі Б.

З урахуванням того, що відносна вологість повітря всередині виробничого приміщення не перевищує 70 %, а місто Луцьк розташоване в зоні нормальної вологості, умови експлуатації металевих конструкцій характеризуються помірним корозійним впливом зовнішнього середовища та низьким рівнем агресивності всередині будівлі.

Відповідно до встановлених характеристик середовища ступінь його агресивного впливу на металеві конструкції зовні будівлі приймається як середньоагресивний, а всередині приміщень — як слабоагресивний [3].

З огляду на визначені умови експлуатації як основний спосіб антикорозійного захисту металевих конструкцій прийнято нанесення лакофарбових покриттів.

Для внутрішніх металевих конструкцій передбачено використання емалі ПФ-115, яку наносять у два шари по попередньо підготовленому ґрунтовому покриттю.

Для зовнішніх металевих конструкцій застосовується емаль УР-175, що наноситься у два шари на попередньо нанесену ґрунтовку УР-012 [10].

2. Розрахунково – дослідницький розділ

2.1. Збирання навантаження на раму.

2.1.1.Збирання навантаження від на раму від ваги покриття

2.1.2. Визначення постійних навантажень

Результати збирання навантаження від на раму від ваги покриття наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Визначення навантаження від ваги покрівлі н 1 м^2 покриття

	Склад навантаження	Нормативне навантаження, кН/м^2	Коефіцієнт надійності за навантаженням	Розрахункове навантаження, кН/м^2
	2	*3*	*4*	*5*
	Захисний шар із гравію, втопленого в бітумну мастику h=10 мм	0,21	1,3	0,252
	4-х шаровий гідроізоляційний килим	0,16	1,3	0,176
	Асфальтова стяжка h=20 мм, γ = 18 кН/м^3	0,36	1,2	0,432
	Утеплювач товщиною h=150 мм із мінераловатних плит, γ = 3 кН/м^3	0,45	1,3	0,54
	Пароізоляція (1 шар пергаміну))	0,04	1,1	0,044
	Стальний профільований настил	0,15	1,05	0,156
	Сталеві прогони	0,18	1,05	0,189
	Власна вага металевих конструкцій (ферми, ліхтарі, в’язі)	0,4+0,1+ 0,072= 0,572	1,05	0,601
	Всього	2,122		2,39

На ригель рами вливає розрахункове навантаження на 1 м^2 , яке складає

$q = q_0 B = 2{,}39 \cdot 12 = 28{,}68$ кНм,

де B – відстань між ригелями.

Опорний тиск ригеля від дії постійного навантаження

$F_q = qL/2 = 28{,}68 \cdot 24/2 = 344{,}16$ кН,

де L - довжина прольоту будівлі.

Постійне навантаження від ваги стінових панелей, ригелів і прольотів скління на рівні сходів наведена в табл. 4.19 [2].

При одній стрічці склення

$$\left[(h_в + h_{оп})B' - 2{,}4 \cdot B'\right] \cdot 0{,}201 + (h_в + h_{оп})B' \cdot 0{,}058 + 2{,}4 \cdot B' \cdot 0{,}296 =$$

$= [96{,}6 + 3{,}15) \cdot 6 - 2{,}4 \cdot 6] \cdot 0{,}201 + (6{,}6 + 3{,}15) \cdot 6 \cdot 0{,}058 + 2{,}4 \cdot 6 \cdot 0{,}296 =$

$= 16{,}5$ кН,

де $B' = 6$ м – проміжок між колоною і стійкою фахверка;

$h_{оп} = 3{,}150$ м – висота ферми для типових кроквяних ферм із паралельними поясами і уклоном покрівлі $i = 1{,}5\%$;

$h_в$ – висота верхньої частини колони.

На рівні нижньої частини колони за наявності двох стрічок скління.

$$(h_н \cdot B' - 2 \cdot 2{,}4B')0{,}201 + h_н \cdot B' \cdot 0{,}058 + 2 \cdot 2{,}4 \cdot B' \cdot 0{,}296 =$$

$= (10{,}4 \cdot 6 - 2 \cdot 2{,}4 \cdot 6) \cdot 0201 + 10{,}4 \cdot 6 \cdot 0{,}058 + 2 \cdot 2{,}4 \cdot 6 \cdot 0{,}296 =$

$= 18{,}9$ кН,

де $h_н$ – висота нижньої частини колони.

Постійне навантаження від власної ваги колони в перерізі на рівні її ступені.

$$0{,}5 \cdot B \cdot L \cdot 0{,}731 \cdot 0{,}305 \cdot h = 0{,}5 \cdot 12 \cdot 24 \cdot 0{,}731 \cdot 0{,}305 \cdot 1{,}05 = 33{,}7 \text{ кН}.$$

На рівні низу колони

$$0{,}5 \cdot B \cdot L \cdot 0{,}731 \cdot 0{,}695 \cdot h = 0{,}5 \cdot 12 \cdot 24 \cdot 0{,}731 \cdot 0{,}695 \cdot 1{,}05 = 76{,}8 \text{ кН}.$$

2.1.3. Визначення впливу снігового навантаження

Розрахункове снігове навантаження на 1 м/п довжини ригеля рами

$$S = \gamma_f S_0 \mu B = 1{,}4 \cdot 0{,}5 \cdot 1{,}2 \cdot 12 = 10{,}08 \text{ кН/м},$$

де $\gamma_f = 1{,}4$ – коефіцієнт надійності снігового навантаження при відношенні навантаження від власної ваги покриття $q_н$ до нормативної ваги снігового шару S_0

$q_н / S_0 = 2{,}122/0{,}7 = 3{,}0 > 0{,}8$;

B – крок колон;

S_0 – нормативне навантаження снігового шару на 1 м^2 горизонтальної поверхні землі;

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

Опорний тиск ригеля від снігового навантаження

$F_p = SL/2 = 8{,}4 \cdot 24/2 = 100{,}8$ кН.

$F_p = SL/2 = 10{,}08 \cdot 24/2 = 120{,}8$ кН.

2.1.4. Визначення впливу вітрового навантаження

Нормативний швидкісний натиск вітру для м. Луцьк $q_0 = 0{,}27$ кН/м^2.

Еквівалентний рівномірно розподілений швидкісний натиск вітру до рівня низу ригеля визначається на основі згинального моменту M, що виникає в колоні під дією фактичного вітрового навантаження.

$$M = \frac{0{,}27 \cdot 5{,}4^2}{2} + \frac{(1{,}175 - 1) \cdot 0{,}27 \cdot (10{,}8 - 10)}{2} \cdot \left(10{,}8 + \frac{2}{3} \cdot 12\right) = 23{,}5 \text{ кНм}.$$

Розрахункове погонне навантаження на колону від активного тиску вітру визначається з урахуванням нормативного швидкісного натиску, коефіцієнта надійності за навантаженням, коефіцієнта зміни вітрового тиску залежно від висоти, аеродинамічного коефіцієнта та вантажної ширини колони.

$$q_0.екв = 2M/h^2 = 2 \cdot 23{,}5/10{,}8^2 = 0{,}402 \text{ кН/м}^2,$$

Розрахункове навантаження на 1 м довжини колони від активного та пасивного тиску вітру

$$q_a = \gamma_f q_{0.екв} cB' = 1{,}2 \cdot 0{,}285 \cdot 0{,}8 \cdot 6 = 1{,}642 \text{ кН/м}.$$

$$q' = \gamma_f q_{0.екв} c'B' = 1{,}2 \cdot 0{,}285 \cdot 0{,}6 \cdot 6 = 1{,}232 \text{ кН/м}.$$

Розрахункова сил, що зосереджена на рівні ригеля колони від активного тиску

$$W = W_1 + W_2 = 28{,}71 + 8{,}86 = 37{,}57 \text{ кН},$$

$$W_1 = \gamma_f q_0 cB\left(h_{ш.1} \frac{1{,}175 + 1{,}25}{2} + h_{ш.2} \frac{1{,}175 + 1{,}25}{2} \right) =$$

де

$$= 1{,}2 \cdot 0{,}27 \cdot 0{,}8 \cdot 12\left(3{,}8 \cdot \frac{1{,}175 + 1{,}25}{2} + 3{,}62 \cdot \frac{1{,}175 + 1{,}25}{2} \right) = 28{,}71 \text{ кН}.$$

$$W_2 = \gamma_f q_{0.екв} c \frac{B'h}{2} = 1{,}2 \cdot 0{,}27 \cdot 0{,}8 \cdot \frac{6 \cdot 10{,}8}{2} = 8{,}86 \text{ кН}.$$

Тут $q_1 = 1{,}175\, q_0$; $q_2 = 1{,}304\, q_0$.

від пасивного тиску

$$W' = (0{,}6/0{,}8)W = (0{,}6/0{,}8) \cdot 37{,}57 = 28{,}2 \text{ кН}.$$

2.1.5. Визначення навантаження від тиску мостових кранів.

2.1.5.1 Навантаження від вертикального тиску

На рис. 2.1. наведена схема до визначення від вертикального навантаження від тиску мостових кранів.

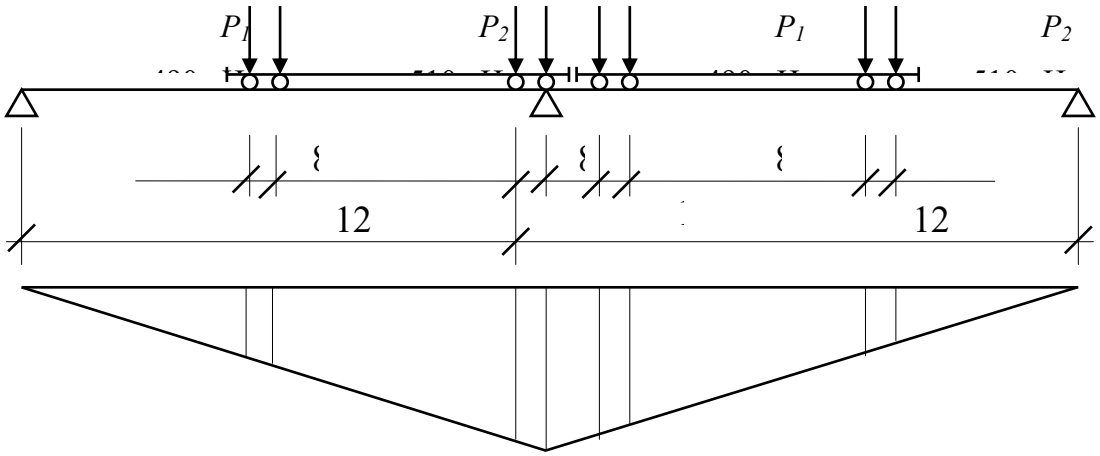


Рис. 2.1. Схема до визначення від вертикального навантаження від тиску мостових кранів.

Розрахункове навантаження тиску на колону, до якої наближено візок крана, визначається за формулою:

$$D_{\max} = \psi \gamma_f P_{\max} \sum y + G_{n.к} = 0{,}85 \cdot 1{,}1 \cdot 510 \cdot 4{,}882 + 72 = 2217{,}4 \text{ кН},$$

де ψ – коефіцієнт сполучення кранового навантаження;

γ_f =1,1 – коефіцієнт надійності за навантаженням;

$P_{\max}$ – максимальний тиск від колеса крана;

$G_{n.к}$ – вага підкранових конструкцій;

$\sum y$ —— сума ординат лінії впливу під час визначення опорного тиску на колону.

$$\sum y = 1 + 0{,}933 + 0{,}55 + 0{,}483 + 0{,}738 + 0{,}671 + 0{,}288 + 0{,}221 = 4{,}882.$$

$$G_{n.к} = g_{n.к} B = 6 \cdot 12 = 72 \text{ кН}.$$

$$D_{\min} = \psi \gamma_f P_{\min} \sum y + G_{n.к} = 0{,}85 \cdot 1{,}1 \cdot 105 \cdot 4{,}882 + 72 = 251{,}3 \text{ кН},$$

Мінімальний тиск колеса крана становить:

$$P_{\min} = (Q + G)/n_0 - P_{\max} = (800 + 1100)/4 - 510 = 105 \text{ кН}$$

n_0 – кількість коліс моста крана із однієї сторони.

Зосереджені моменти, що виникають унаслідок дії вертикального тиску кранів, визначаються множенням відповідних навантажень на плече прикладання сили:

$$M_{\max} = D_{\max} e_к = 2217{,}4 \cdot 0{,}75 = 1663{,}1 \text{ кН};$$

$$M_{\min} = D_{\min} e_к = 551{,}3 \cdot 0{,}75 = 413{,}5 \text{ кН},$$

де $e_к$ - плече прикладання сили становить половину відстані між відповідними осями:

$$e_к = 0{,}5 b_н = 0{,}5 \cdot 1500 = 750 \text{ мм} = 0{,}75 \text{ м}.$$

2.1.5.2. Визначення навантаження поперечного горизонтального тиску

Нормативне значення сили тиску визначається за формулою:

$$T_0^н = 0{,}05(Q + G_m) = 0{,}05(800 + 380) = 59 \text{ кН},$$

тут Q = 800800 кН — вантажопідйомність крана, а G_m = 380380 кН — повна вага крана разом із візком.

Навантаження тиску, що припадає на одне колесо крана, становить:

$$T_к = T_0^н / n_0 = 59/4 = 14{,}75 \text{ кН}.$$

Розрахунковий горизонтальний тиск крана на колону

$$T_{\max} = \psi \gamma_f T_к \sum y = 0{,}85 \cdot 1{,}1 \cdot 14{,}75 \cdot 4{,}882 = 67{,}33 \text{ кН}.$$

2.1.6 Визначення співвідношення жорсткостей елементів поперечної рами

Схема для визначення співвідношення жорсткостей елементів поперечної рами наведена н рис. 2.2.

Спочатку визначаємо площі поперечних перерізів і моменти інерції окремих елементів поперечної рами, починаючи з ригеля:

$$I_p = \frac{M_{\max} h_{cp}}{2R_y} \cdot 1.15\mu = \frac{(28{,}68 + 25{,}2) \cdot 24^2}{10^2 \cdot 8} \cdot \frac{3{,}05 \cdot 10^7}{2 \cdot 210} \cdot 1.15 \cdot 0{,}9 = 6560447\,\text{см}^4.$$

$$A_p = 2A_n \approx \left(2 \cdot 2 \cdot I_p\right) \Big/ h_{cp}^2 = 282{,}1\ \text{см}^2;$$

Для нижньої частини колони

$$I_2 = \frac{(N_A + 2D_{\max}) b_н^2}{\kappa_2 R_y} = \frac{\left[(516{,}24 + 100{,}8) + 2217{,}4\right] \cdot 150^2 \cdot 10}{3{,}2 \cdot 210} = 1689750\,\text{см}^4.$$

де $N_A = F_q + F_p$

$$A_2 \cong \frac{4I_2}{b_н^2} = \frac{4 \cdot 1689750}{150^2} = 300{,}4\,\text{см}^2.$$

Для верхньої частини колони

$$I_1 = \frac{I_2}{\kappa_1} \cdot \left(\frac{b_в}{b_н}\right)^2 = \frac{1689750}{\kappa_1 1{,}55} \cdot \left(\frac{100}{150}\right)^2 = 474874{,}2\,\text{см}^4.$$

$$A_1 \cong \frac{4I_1}{b_в^2} = \frac{4 \cdot 474874{,}2}{100^2} = 189{,}9\,\text{см}^2.$$

Таким чим співвідношення моментів інерції складає

$I_1 : I_2 : I_p = 474874{,}2 : 1689750 : 6560447 = 1 : 4 : 14.$

Значення жорсткостей визначаємо починаючи з ригеля

$EI_p = 2{,}06 \cdot 10^3 \cdot 6560447 = 1{,}351 \cdot 10^{10}$ Па·м^4;

$EA_p = 2{,}06 \cdot 10^7 \cdot 282{,}1 = 5{,}811 \cdot 10^9$ Па·м^2;

Відповідно для нижньої частини колони

$EI_2 = 2{,}06 \cdot 10^3 \cdot 1689450 = 0{,}348 \cdot 10^{10}$ Па·м^4;

$EA_2 = 2{,}06 \cdot 10^7 \cdot 300{,}4 = 6{,}188 \cdot 10^9$ Па·м^2;

а для верхньої частини колони

$EI_1 = 2{,}06 \cdot 10^3 \cdot 474874{,}2 = 0{,}0978 \cdot 10^{10}$ Па·м^4;

$EA_1 = 2{,}06 \cdot 10^7 \cdot 282{,}1 = 3{,}91 \cdot 10^9$ Па·м^2;

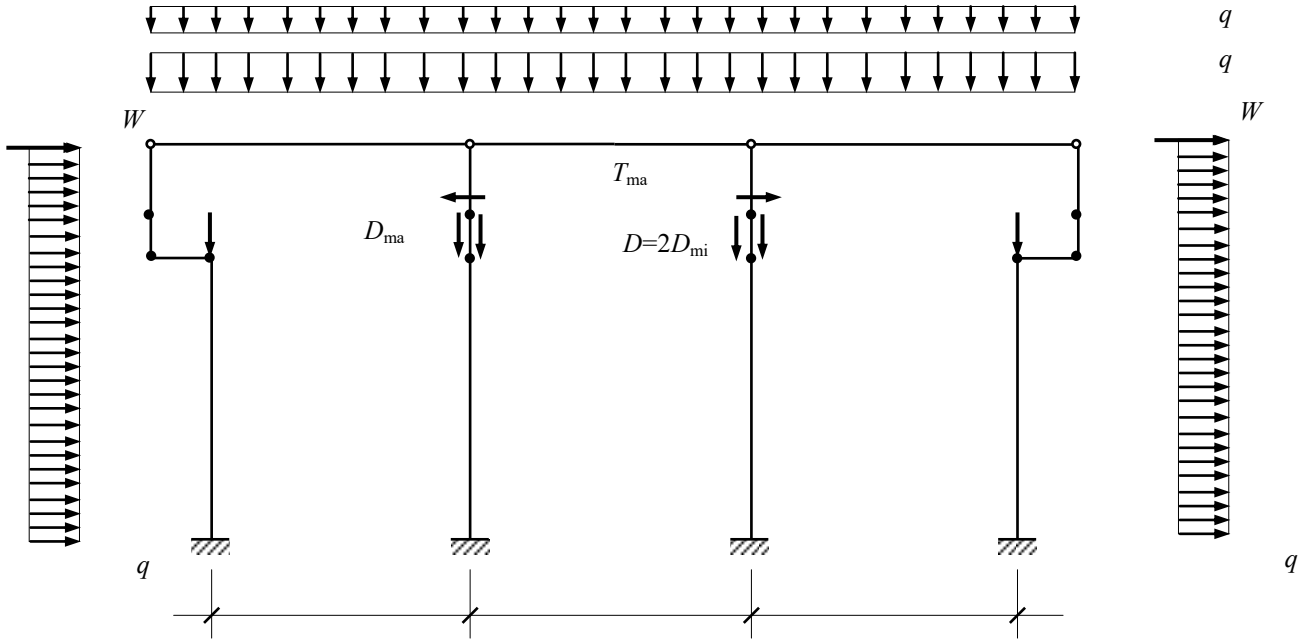


Рис.2.2. Схема для визначення співвідношення жорсткостей елементів поперечної рами.

2.2 РОЗРАХУНОК КРОКВЯНОЇ ФЕРМИ

2.2.1 Вихідні дані

Переріз елементів ферми – верхній і нижній пояси із таврів, розкоси і стійки із кутників. Геометричну схему кроквяної ферми приймаємо по каталогу типових сталевих конструкцій для цивільного будівництва, серія ПК-01-33. Висота ферми – 3150 мм, матеріал стержнів ферми – сталь класу С245 марки ВСт3пс6-1, фасонок – ВСт3пс5-1 за ДСТУ 3436-96. Довжина ферми – 24 м.

2.2.2 Збір навантаження на ферму

Навантаження від покриття з урахуванням ваги світлового ліхтаря)

$$q'_{пр} = (q_{пр} - nq_{лх})\gamma_n = (2{,}39 - 1{,}05 \cdot 0{,}15) \cdot 0{,}95 = 2{,}12 \text{ кН/м}^2.$$

Власна вага ліхтаря, прикладена в місцях його фактичного обпирання на ферму.

$$q'_{лх} = 0{,}1 \text{ кН/м}^2.$$

Вага бортової стінки та засклення, віднесена до одиниці довжини стінки.

$$q_{б.ст} = 2 \text{ кН/м}.$$

Вузлові сили:

$$F'_1 = q'_{пр} Bd = 2{,}12 \cdot 12 \cdot 3 = 76{,}32 \text{ кН};$$

$$F'_2 = q'_{пр} Bd + (q'_{лх} B \cdot 0{,}5d + q_{б.ст} B)\gamma_n =$$

$$= 2{,}12 \cdot 12 \cdot 3 + (0{,}1 \cdot 12 \cdot 0{,}5 \cdot 3 + 2 \cdot 12) \cdot 0{,}95 = 100{,}83 \text{ кН};$$

$$F'_3 = q'_{пр} B(0{,}5d + d) + [q'_{лх} B(0{,}5d + d)]\gamma_n =$$

$$= 25{,}44 \cdot 4{,}5 + [1{,}2 \cdot 4{,}5] \cdot 0{,}95 = 119{,}61 \text{ кН}.$$

Сили постійного навантаження F_0 і F_7, що діють на колони під час розрахунків не враховуються.

Схема до визначення постійного навантаження наведена на рис.2.3.

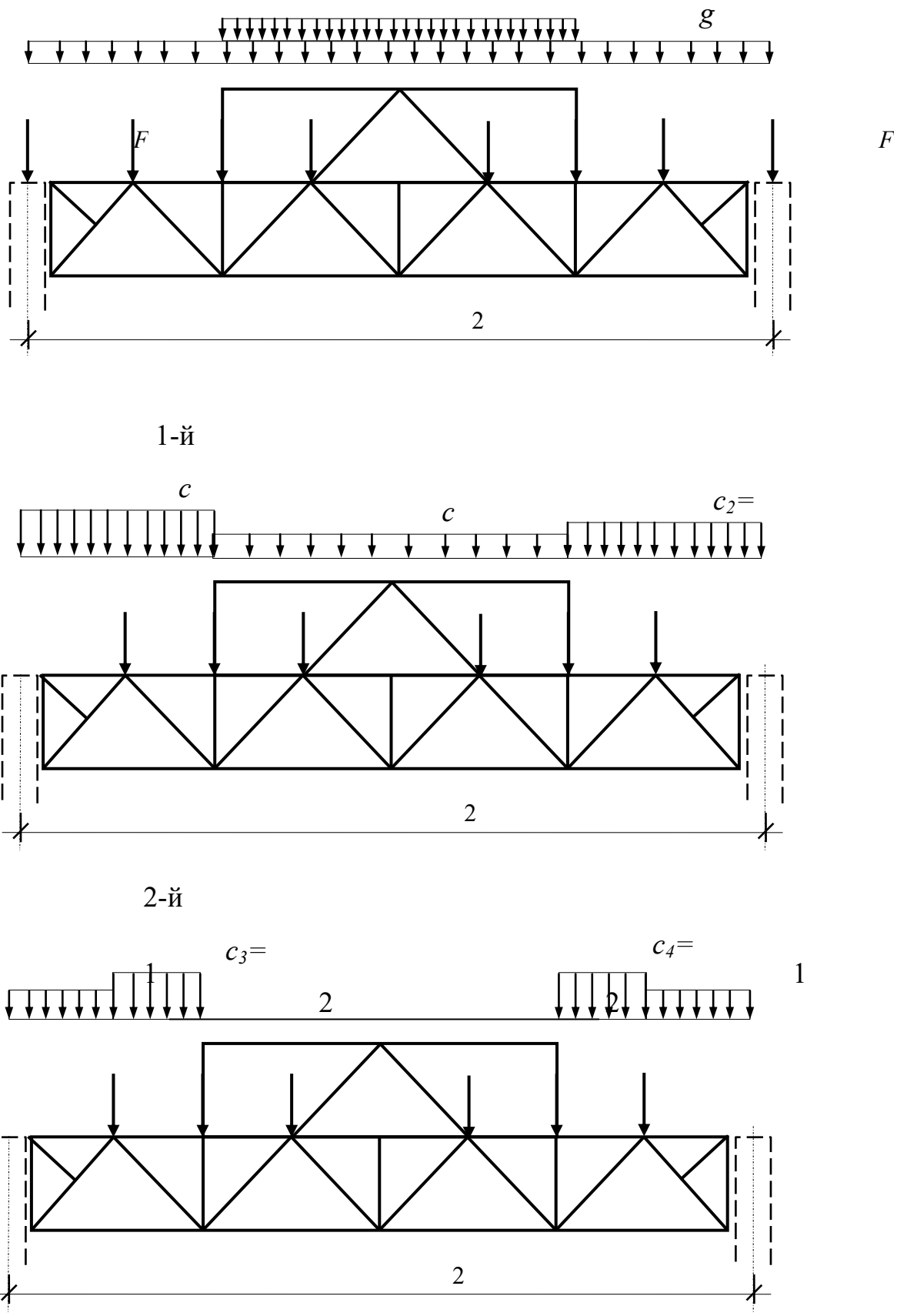


Рис. 2.3. Схема до визначення постійного навантаження

Опорні реакції

$F_{Aq} = F_1 + F_2 + F_3 = 76{,}32 + 100{,}83 + 119{,}61 = 296{,}71$ кН.

Снігове навантаження.

Розрахункове навантаження

$S = S_0 \gamma_f \mu \gamma_n = 0{,}7 \cdot 1{,}4 \cdot 1 \cdot 0{,}95 = 0{,}7$ кН.

Вузлові сили

1-й варіант снігового навантаження

$F_{1S} = 0{,}7 \cdot 12 \cdot 3 \cdot 1{,}13 = 28{,}5$ кН;

$F_{2S} = 0{,}7 \cdot 12 \cdot 3 \cdot (0{,}8 + 1{,}13)/2 = 24{,}4$ кН;

$F_{3S} = 0{,}7 \cdot 12 \cdot 3 \cdot (3 + 0{,}5 \cdot 3) \cdot 0{,}8 = 30{,}2$ кН.

Опорні реакції

$F_{aq} = F_1 + F_2 + F_3 = 28{,}5 + 24{,}4 + 30{,}2 = 83{,}1$ кН.

2-й варіант снігового навантаження

$F'_{1S} = 0{,}7 \cdot 12 \cdot 3 \cdot 2{,}6 = 65{,}5$ кН;

$F'_{2S} = 0{,}7 \cdot 12 \cdot (3/2) \cdot 2{,}6 = 32{,}76$ кН;

$F'_{3S} = F'_{4S} = F'_{5S} = 0$;

$F'_{6S} = 0{,}7 \cdot 12 \cdot (3/2) \cdot 0{,}7 = 8{,}8$ кН;

$F'_{7S} = 0{,}7 \cdot 12 \cdot 3 \cdot 2{,}6 = 65{,}5$ кН.

Опорні реакції на лівій опорі

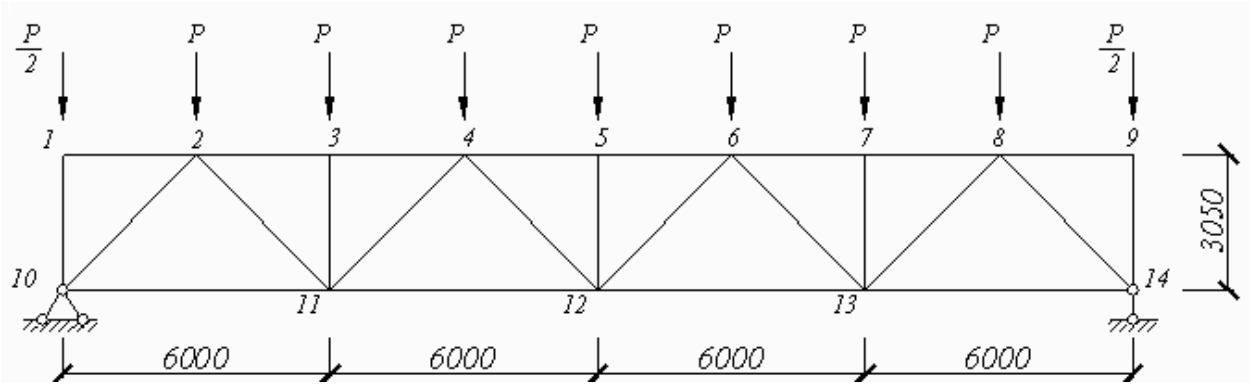
$F'_{As} = (65{,}52 \cdot 20{,}5 + 32{,}76 \cdot 17{,}5 + 8{,}8 \cdot 2{,}5 + 65{,}52 \cdot 2{,}5)/23 = 91{,}4$ кН.

на правій опорі

$F'_{Bs} = 65{,}52 + 32{,}78 + 8{,}8 + 65{,}52 - 91{,}4 = 81{,}2$ кН.

1.2.3. Розрахункові зусилля в стрижнях ферми.

На рис. 2.4. наведена розрахункова схема металевої ферми виробничого приміщення, за допомогою якої визначаємо реакції опор та зусилля у стрижнях ферми.



Рис,2.4. Розрахункова схема металевої ферми виробничого приміщення з нумерацією вузлів

Результати визначення зусиль в стрижнях ферми методом вирізання вузлів наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Результати визначення зусиль в стрижнях ферми

№ п/п	Номер стриженя	Зусилля від одиничної сили $P=1кН$	Зусилля від сили $P=119,61$ кН
1	1-2	0	0
2	2-3	-6	-507,24
3	3-4	-6	-507,24
4	4-5	-8	-676,32
5	5-6	-8	-676,32
6	6-7	-6	-507,23
7	7-8	-6	-507,23
8	8-9	0	0
9	10-11	3,5	295,89
10	11-12	7,5	634,05
11	12-13	7,5	634,05
12	13-14	3,5	295,89
13	1-10	-0,5	-42,27
14	10-2	-5	-422,7
15	2-11	3,54	299,27
16	3-11	-1	-84,54
17	11-4	-2,12	-179,22
18	4-12	0,71	60,02
19	5-12	-1	-84,54
20	12-6	0,71	60,02
21	6-13	-2,12	-179,22
22	7-13	-1	-84,54
23	13-8	3,54	299,27
24	8-14	-5	-422,27
25	9-14	-0,5	-42,27

2.2.4 Підбір перерізів

У фермі усі стрижні працюють як центрально стиснуті і центрально розтягнуті елементи. Верхній і нижній пояси ферми виконані із таврів, розкоси і стійки із кутників.

Підбір поперечного перерізу стиснутих стержнів ферми розпочинають із розрахунку необхідної площі перерізу за відповідною формулою $A_{потр}$ з урахуванням поздовжньої сили, розрахункового опору сталі, коефіцієнта поздовжнього згину та коефіцієнта умов роботи конструкції.

$$A_{потр} = \frac{N\gamma_n}{\varphi R_y \gamma_c},$$

де N – зусилля в стержні ферми;

γ_n – коефіцієнт надійності за призначенням споруди;

φ – коефіцієнт поздовжнього згину;

R_y – розрахунковий опір сталі розтягу, стиску, згину визначений за межею плинності;

γ_c – коефіцієнт умов роботи.

$$A_{потр} = \frac{N\gamma_n}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{1912{,}61 \cdot 0{,}95}{0{,}85 \cdot 24 \cdot 0{,}95} = 93{,}8\,\text{см}^2.$$

За сортаментом приймаємо тавр №40БТ1 із геометричними характеристиками

$A = 98{,}5$ см^2; $i_x = 12{,}5$ см; $i_y = 5{,}36$ см.

Провіряємо максимальну гнучкість прийнятого стержня

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} \le [\lambda] = \frac{300}{5{,}36} = 56 \le [120]$$

По максимальній гнучкості находимо $\varphi_{\min}$

При $\lambda = 56$ і $R_y = 240$ Мпа $\varphi_{\min} = 0{,}824$.

Провіряємо стійкість стержня

$$\sigma = \frac{N\gamma_n}{\varphi_{\min} A\gamma_c} \le R_y = \frac{1912{,}61 \cdot 0{,}95}{0{,}824 \cdot 98{,}5 \cdot 0{,}95} = 23{,}6 < 24\ \text{кН/см}^2.$$

Добір перерізу розтягнутих стержнів починається з визначення потрібної площі за формулою

$$A_{потр} = \frac{N\gamma_n}{R_y\gamma_c} = \frac{1623{,}55 \cdot 0{,}95}{24 \cdot 0{,}95} = 67{,}6\ \text{см}^2$$

За сортаментом приймаємо тавр №30БТ1 із геометричними характеристиками

$A = 65{,}7$ см^2; $i_x = 9{,}06$ см; $i_y = 4{,}68$ см.

Провіряємо гнучкість прийнятого стержня

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} \le [\lambda] = \frac{600}{9{,}06} = 66 \le [250]$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} \le [\lambda] = \frac{600}{5{,}36} = 112 \le [250]$$

Визначаємо напруження стержня

$$\sigma = \frac{N\gamma_n}{A\gamma_c} \le R_y = \frac{1623{,}55 \cdot 0{,}95}{65{,}7 \cdot 0{,}95} = 24{,}7 \approx 24\ \text{кН/см}^2.$$

Аналогічно підбираємо переріз решти стержнів. Результати розрахунку всіх інших стержнів приводимо у таблиці.

Кількість прокладок в стержнях решітки визначаємо за формулою

а) в стиснутих стержнях решітки $k = \frac{l}{40 i_{\min}} - 1;$

б) в розтягнутих стержнях решітки $k = \frac{l}{80 i_{\min}} - 1.$

Аналогічно підбираємо переріз решти стрижнів. Результати розрахунку всіх інших стержнів приводимо у таблиці 2.3.

Табл.2.3. Результати підбору перерізів стрижнів кроквяної ферми.

Елемент	№ елемента	Зусилля N, Кн	Площа перерізу стрижня, см²	Сортамент перерізу, мм	Розрахункова довжина стрижня		Радіус інерції перерізу		Гнучкість стрижня (при стисканні)			φ_{min} При стисканні	χ_c γ_c	Напруження σ, Кн/см²	$R_y \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_n}$	Δ, %
					l_x	l_y	i_x	i_y	λ_x	λ_y	$[\lambda]$					
Верхній пояс	4	-157	10.82	⌐ ⌐ 56x5	157	157	1.72	2.69	91	58	120	0.60	0.95/0.95	24.02	24	+1
	5	-151			157	157										
	6	-131			157	157										
	7	-131			157	157										
Нижній пояс	12	135	12.26	⌐ ⌐ 63x5	150	600	1.94	2.96	155	202		-	0.95/0.95	22.4	24	-6.5
	13	275			300											
	14	234			150											
Решітка	3	-98	9.6	⌐ ⌐50x5	40	40	1.53	2.45	26	16	120	0.944	0.95/0.95	11	24	
	18	156	9.6	⌐ ⌐50x5	124	155	1.53	2.45	81	63	400	-	0.95/0.95	16.25	24	-
	19	-33	9.6	⌐ ⌐50x5	68	85	1.53	2.45	44	35	150	0.878	0.8/0.95	4	20.2	-
	20	-112	10.82	⌐ ⌐56x5	158	198	1.72	2.69	92	74	150	0.597	0.8/0.95	17.3	20.2	-14
	21	27	9.6	⌐ ⌐50x5	158	198	1.53	2.45	103	81	400	-	0.95/0.95	13.04	24	-
	22	-24	9.6	⌐ ⌐50x5	220	275	1.53	2.45	144	93	150	0.298	0.8/0.95	8.4	20.2	-
	23	48	9.6	⌐ ⌐50x5	213	266	1.53	2.45	139	109		-	0.8/0.95	2	24	-
	24	0	9.6	⌐ ⌐50x5	176	220	1.53	2.45	115	90		-	-	-	-	-

2.2.5 Розрахунок зварних з'єднань

2.2.5.1.Розрахунок катетів швів.

В обушка $k_{f,\max}^{об} \le 1{,}2t_{\min}$, де $t_{\min}$ – найменша із зварювальних елементів товщина.

У пера $k_{f,\max}^{n} \le 0{,}9t_n$, де t_n – товщина полиці кутника.

$k_{f,\min}$ – знаходимо залежно від розрахункового опору R_y та найбільшої товщини із зварювальних елементів.

k_f приймаємо як середнє між $k_{f,\max}^{об}$ і $k_{f,\min}$, $k_{f,\max}^{n}$ і $k_{f,\min}$

Підбор катетів швів зводимо у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4. Підбір катетів швів

№ стержнів решітки	-7	-7	-9	-9	-6	-8	-10
Переріз	40x10	10x8	40x9	5x7	0x5	0x5	0x5
$\frac{k_{f,\max}^{об}}{k_{f,\max}^{n}}$	2/9	/7	0/8	/6	/4	/4	/4
$k_f^{\min}$							
Прийняті катети $\frac{k_f^{об}}{k_f^{п}}$	0/8	/6	0/8	/6	/4	/4	/4

2.2.5.2.Визначення несучої здатності швів.

Приймаємо для зварювання між собою елементів верхнього і нижнього поясів з решіткою напівавтоматичне зварювання зварювальною проволокою СВ 08ГА ДСТУ EN ISO 14171:2015 . Для спрощення розрахунку швів знаходимо із формул 120, 121 ДБН В.2.6-198:2014 несучу здатність 1 см погонної довжини шва заданого катету:

по металу шва

$$\overline{N}_f = \beta_f k_f l_\omega R_{\omega f} \gamma_{\omega f} \gamma_c$$

по металу границі сплавлення

$$\overline{N}_z = \beta_z k_f l_\omega R_{\omega z} \gamma_{\omega z} \gamma_c,$$

де $R_{\omega f}$ = 20 кН/см^2;

$R_{\omega z} = 0{,}45 R_{un}$. Для С245 R_{un}=37 кН/см^2;

$R_{\omega z} = 0{,}45 \times 37 = 16{,}65$ кН/см^2;

γ_c=1 – коефіцієнт умов роботи зварного з'єднання;

$\gamma_{\omega f} = 1$; $\gamma_{zf} = 1$; $\beta_f = 0{,}7$; $\beta_z = 1$.

Значення несучої здатності швів зводимо в табл. 2.5.

Таблиця 2.5. Несуча здатність $\overline{N}_f$ і $\overline{N}_z$ 1 см шва в кН.

k_f, см	β_f / β_z	R_{wf} / R_{wz}	$\gamma_{wf} / \gamma_{wz}$	γ_c	$\overline{N}_f / \overline{N}_z$	$\overline{N}$
0,4	0,7/1	20/16,65	1/1	1	5,6/6,66	5,6
0,6	0,7/1	20/16,65	1/1	1	8,4/9,99	8,4
0,8	0,7/1	20/16,65	1/1	1	11,2/13,32	11,2
1,0	0,7/1	20/16,65	1/1	1	14/16,65	14

2.2.5.3. Розрахунок довжини швів

Прикріплюють елементи решітки із кутників двома фланговими швами.

Довжину шва визначаємо діленням зусилля в цьому шві на несучу здатність 1 см шва цього катета за формулою:

довжину шва в обушка $l_\omega^{об} = \dfrac{0{,}7N}{2\overline{N}}$;

довжину шва у пера $l_\omega^{n} = \dfrac{0{,}3N}{2\overline{N}}$

Так як $\overline{N}_f \le \overline{N}_z$, то допускаємо, що руйнування буде проходити тільки по металу шва.

Розрахункова довжина зварного шва має бути не меншою за 40 мм, тоді як його конструктивна довжина повинна становити щонайменше 50 мм.

Визначену довжину швів зводимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6. Визначення довжини швів

№ стержнів решітки	-7	-7	-9	-9	-6	-8	-10
Переріз	40x10	10x8	40x9	50x7	40x5	40x5	40x5
Зусилля N, кН	19,1	28,43	60,1	65,57		20,2	
Зусилля в обушка $N^{об}$, кН	43,4	79,9	62,1	25,9		4,1	
Зусилля у пера N^{n}, кН	75,7	48,5	98,0	39,7		6,1	
Прийнятий катет шва в обушка $k_f^{об}$, мм	0		0				
Прийнятий катет шва у пера k_f^{n}, мм							
Розрахункова довжина шва в обушка, см	3,0	5,9	6,5	4,6	,0	,0	,0
Розрахункова довжина шва у пера, см	2,3	4,8	0,8	0,3	,0	,0	,0
Прийнята довжина шва в обушка $l_\omega^{об}$, см	4	7	8	6			
Прийнята довжина шва у пера l_ω^{n}, см	4	6	0	0			

2.2.6 Розрахунок і конструювання вузлів ферми

2.2.6.1 Опорний вузол

Торцевий фланець приймаємо зі сталі марки ВСт3ПС5 за ДСТУ 8540:2015 товщиною $t_ф = 20$мм і шириною $b_ф = 200$ мм.

Опорна реакція складає $R_A = 919{,}1 \cdot \cos 44^o = 661{,}1$ кН.

Напруження зминання у торця

$$\sigma_{см} = \frac{R_A}{A_{оп}} = \frac{661,1}{2 \cdot 20} = 16,5 < R_p = 35,6 \text{ кН/см}^2,$$

де $R_p = R_{un} / \gamma_m = \frac{365}{1,025} = 35,6$ кН/см^2.

Перевіримо опорний фланець на зрізання

$$\tau = \frac{R_A}{ht} = \frac{919,1}{68 \cdot 2} = 6,8 < R_s = 0,58 R_y = 0,58 \cdot 24 = 13,9 \text{ кН/см}^2.$$

Розрахунок зварювальних швів, прикріплюючих опорний фланець до торцевої фасонки та тавра

$$k_f = \frac{R_A}{2\beta_f l_\omega R_{\omega f} \gamma_{\omega f} \gamma_c} = \frac{661,1}{2 \cdot 0,7 \cdot 64 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1} = 0,37 \text{ см}.$$

Конструктивно приймаємо k_f = 6 мм.

2.2.6.2 . Розрахунок і конструювання монтажного вузла верхнього поясу

Розрахунок вузла зводиться до визначення розмірів накладок та їх кріплення.

Розрахункове зусилля в стику

$$N_{ст} = 1,2\left(\sum N\right) = 1,2 \cdot 1912,61 = 2295 \text{ кН},$$

де 1,2 – коефіцієнт, який враховує нечіткість розподілу зусилля між накладками.

Зусилля, яке приходиться на горизонтальну накладку

$$N_{гн} = 0,7 N_{ст} = 0,7 \cdot 2295 = 1606,6 \text{ кН}.$$

Зусилля, яке приходиться на вертикальні накладки

$$N_{вн} = 0,3 N_{ст} = 0,3 \cdot 2295 = 688,5 \text{ кН}.$$

2.2.6.3. *Розрахунок горизонтальної накладки.*

Довжину горизонтальної накладки (рис. 2.4) приймаємо із умов розміщення зварювальних швів поздовж накладки і розміщенням тимчасових болтів нормальної точності.

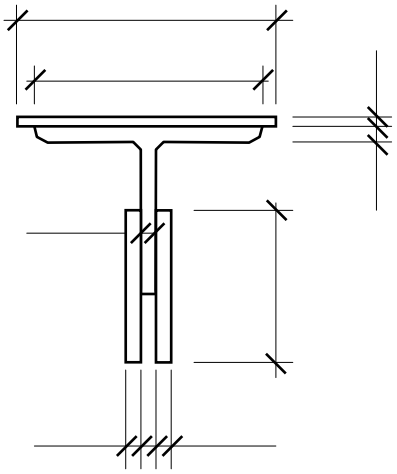


Рис. 2.5. Схема до визначення довжини горизонтальної накладки

Приймаємо $b_{гн} = b_{\perp} \pm 30...60$ мм = 300 + 60 = 360 мм.

Приймаємо катет шва k_f згідно з ДБН В.2.6-198:2014.

Довжина горизонтальної накладки по металу шва

$$l_{гн} = \frac{N_{гн}}{2\beta_f k_f R_{\omega f}\gamma_{\omega f}\gamma_c} = \frac{1606{,}6}{2\cdot 0{,}7\cdot 1{,}6\cdot 20\cdot 1\cdot 1} = 35{,}9 \text{ см} =$$

$$= 360 \cdot 2 + (2 \cdot 10 + 2 \cdot 30) = 800 \text{ мм}.$$

Довжина горизонтальної накладки по металу границі сплавлення

$$l_{гн} = \frac{N_{гн}}{2\beta_z k_f R_{\omega z}\gamma_{\omega z}\gamma_c} = \frac{1606{,}6}{2\cdot 1\cdot 1{,}6\cdot 16{,}65\cdot 1\cdot 1} = 30{,}1 \text{ см} =$$

$$= 310 \cdot 2 + (2 \cdot 10 + 2 \cdot 30) = 700 \text{ мм}.$$

де $R_{\omega z} = 0{,}45R_{un} = 0{,}45\cdot 37 = 16{,}65$ кН/см^2;

$R_{un} = 37$ кН/см^2;

$\gamma_c = 1; \gamma_{\omega z} = 1; \gamma_{\omega f} = 1;\ \beta_f = 0{,}7;\ \beta_z = 1;\ R_{\omega f} = 20$ кН/см^2.

Остаточно приймаємо більшу із довжин $l_{гн}$, збільшивши її вдвічі та врахувавши просвіт між напівфермами.

Товщина горизонтальної накладки

$$t_{гн} \geq \frac{N_{гн}}{b_{гн} R_y} = \frac{1606{,}6}{36 \cdot 24} = 1{,}86 \text{ см}.$$

Приймаємо $t_{гн} = 20$ мм.

Площа горизонтальної накладки

$$A_{гн} = t_{гн} \cdot b_{гн} = 2 \cdot 36 = 72 \text{ см}^2.$$

Перевіряємо напруження

$$\sigma_{гн} = N_{гн} / A_{гн} = 1606{,}6/72 = 22{,}3 < R_y = 24 \text{ кН/см}^2.$$

2.2.6.4. Розрахунок вертикальних накладок**.**

Довжину і ширину вертикальної накладки приймаємо із точки зору розміщення розрахункового зварювального шва прикріплення накладки до стінки тавра та із точки зору розміщення тимчасових болтів нормальної точності.

Ширину вертикальної накладки приймаємо $b_{вн}$ = 200 мм, довжину – $l_{вн}$ = 200 мм.

Товщина вертикальної накладки

$$t_{вн} \geq \frac{N_{вн}}{2 l_{вн} R_y} = \frac{688{,}5}{2 \cdot 20 \cdot 24} = 0{,}71 \text{см}.$$

Приймаємо $t_{вн} = 8$ мм.

Площа вертикальної накладки

$$A_{вн} = 2 l_{вн} \cdot t_{вн} = 2 \cdot 20 \cdot 0{,}8 = 32 \text{ см}^2.$$

Перевіряємо напруження

$$\sigma_{вн} = N_{вн} / A_{вн} = 688{,}5/32 = 21{,}5 < R_y = 24 \text{ кН/см}^2.$$

Перевіряємо загальні напруження в стику

$$\sigma_{ст} = N_{ст} / A_{ст} = 2295/(72 + 32) = 22{,}1 < R_y = 24 \text{ кН/см}^2.$$

Знаходимо катет шва, який необхідний для приварювання вертикальних накладок до поясу

$$k_f = \frac{N_{вн}}{2\beta_f l_\omega R_{\omega f}\gamma_{\omega f}\gamma_c} = \frac{668{,}5}{2\cdot 0{,}7\cdot 32\cdot 20\cdot 1\cdot 1} = 0{,}75 \text{ см}.$$

Приймаємо катет шва k_f = 8 мм.

2.2.6.5. Розрахунок і конструювання монтажного вузла нижнього поясу

Розрахунок вузла зводиться до визначення розмірів накладок та їх кріплення.

Розрахункове зусилля в стику

$$N_{ст} = 1{,}2(\sum N) = 1{,}2 \cdot (1623{,}55 + 465{,}57 \cdot \cos 45^o) = 2343 \text{ кН},$$

де 1,2 – коефіцієнт, що враховує неточність розподілу зусилля між накладками.

Зусилля, яке приходиться на горизонтальну накладку

$$N_{гн} = 0{,}7N_{ст} = 0{,}7 \cdot 2343 = 1640 \text{ кН}.$$

Зусилля, яке приходиться на вертикальні накладки

$$N_{вн} = 0{,}3N_{ст} = 0{,}3 \cdot 1948 = 703 \text{ кН}.$$

2.2.6.6. *Розрахунок горизонтальної накладки.*

Довжину горизонтальної накладки приймаємо із умов розміщення зварювальних швів поздовж накладки і розміщенням тимчасових болтів нормальної точності.

Приймаємо $b_{гн} = b_\perp \pm 30...60 \text{ мм} = 230 + 50 = 280$ мм.

Приймаємо катет шва k_f згідно з ДБН В.2.6-198:2014 (табл. 38).

Довжина горизонтальної накладки по металу шва

$$l_{гн} = \frac{N_{гн}}{2\beta_f k_f R_{\omega f}\gamma_{\omega f}\gamma_c} = \frac{1640}{2\cdot 0{,}7\cdot 1{,}6\cdot 20\cdot 1\cdot 1} = 36{,}6 \text{ см} =$$

$$= 370 \cdot 2 + (2 \cdot 10 + 2 \cdot 30) = 820 \text{ мм}.$$

Довжина горизонтальної накладки по металу границі сплавлення

$$l_{гн} = \frac{N_{гн}}{2\beta_z k_f R_{\omega z}\gamma_{\omega z}\gamma_c} = \frac{1640}{2\cdot 1\cdot 1{,}6\cdot 16{,}65\cdot 1\cdot 1} = 30{,}8 \text{см} =$$

$$= 310 \cdot 2 + (2 \cdot 10 + 2 \cdot 30) = 700 \text{ мм}.$$

де $R_{\omega z} = 0{,}45R_{un} = 0{,}45 \cdot 37 = 16{,}65$ кН/см^2;

$R_{un} = 37$ кН/см^2;

$\gamma_c = 1; \gamma_{\omega z} = 1; \gamma_{\omega f} = 1;\ \beta_f = 0{,}7;\ \beta_z = 1;\ R_{\omega f} = 20$ кН/см^2.

Остаточно приймаємо більшу із довжин $l_{гн}$, збільшивши її вдвічі та врахувавши просвіт між напівфермами.

Товщина горизонтальної накладки

$$t_{гн} \geq \frac{N_{гн}}{b_{гн} R_y} = \frac{1640}{28 \cdot 24} = 2{,}44 \text{ см}.$$

Приймаємо $t_{гн} = 25$ мм.

Площа горизонтальної накладки

$$A_{гн} = t_{гн} \cdot b_{гн} = 2{,}5 \cdot 28 = 70 \text{ см}^2.$$

Перевіряємо напруження

$$\sigma_{гн} = N_{гн} / A_{гн} = 1640/70 = 23{,}4 < R_y = 24 \text{ кН/см}^2.$$

2.2.6.Д2. Розрахунок вертикальних накладок.

Довжину і ширину вертикальної накладки приймаємо із точки зору розміщення розрахункового зварювального шва прикріплення накладки до стінки тавра та із точки зору розміщення тимчасових болтів нормальної точності.

Ширину вертикальної накладки приймаємо $b_{вн} = 200$ мм, довжину – $l_{вн} = 200$ мм.

Товщина вертикальної накладки

$$t_{вн} \geq \frac{N_{вн}}{2 l_{вн} R_y} = \frac{703}{2 \cdot 20 \cdot 24} = 0{,}73 \text{см}.$$

Приймаємо $t_{вн} = 8$ мм.

Площа вертикальної накладки

$$A_{вн} = 2 l_{вн} \cdot t_{вн} = 2 \cdot 20 \cdot 0{,}8 = 32 \text{ см}^2.$$

Перевіряємо напруження

$$\sigma_{вн} = N_{вн} / A_{вн} = 703/32 = 220 < R_y = 24 \text{ кН/см}^2.$$

Перевіряємо загальні напруження в стику

$$\sigma_{cm} = N_{cm} / A_{cm} = 2343/(70 + 32) = 23{,}0 < R_y = 24 \text{ кН/см}^2.$$

Знаходимо катет шва, який необхідний для приварювання вертикальних накладок до поясу

$$k_f = \frac{N_{вн}}{2\beta_f l_\omega R_{\omega f} \gamma_{\omega f} \gamma_c} = \frac{703}{2 \cdot 0{,}7 \cdot 32 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 1} = 0{,}78 \text{ см}.$$

Приймаємо катет шва $k_f = 8$ мм.

2.3. Комп'ютерне моделювання та оптимізація металоконструкції ферми цеху машинобудівого підприємства.

2.3.1. Перевірка достовірності аналітичного розрахунку ферми виробничого приміщення для подальшого обґрунтованого визначення оптимальних параметрів.

Для уточнення розрахункових параметрів та підвищення ефективності конструкції металевої ферми проведено її тривимірне комп'ютерне моделювання за допомогою програмного комплексу SolidWorks 2013.

Для визначення та перевірки зусиль, що виникають у стрижнях ферми (рис. 2.4), у програмному середовищі SolidWorks Simulation створюється розрахункова модель конструкції (рис.2.5). До неї прикладається навантаження величиною 1 кН відповідно до результатів попереднього аналітичного розрахунку, виконаного методом вирізання вузлів (методом Ріттера). При цьому на крайні вузли ферми діють зосереджені сили по 0,5 кН кожна. Вплив власної ваги конструкції під час моделювання не враховується. Для забезпечення максимальної відповідності умов моделювання прийнятим припущенням ручного розрахунку всі шарнірні з'єднання закріплюються відносно вертикальної осі (рис.2.7).

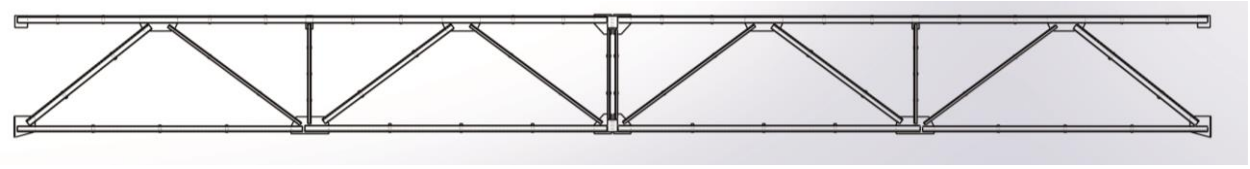


Рис.2.6. Модель ферми

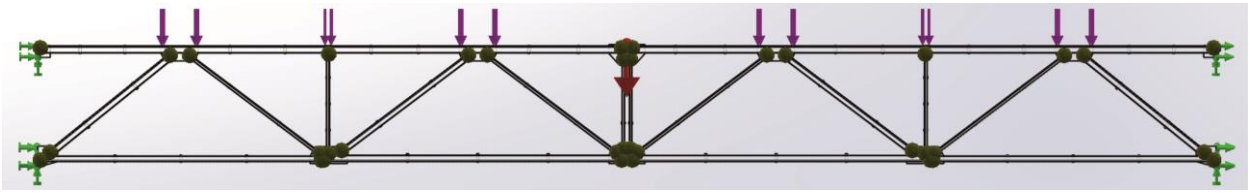


Рис .2.Д2. Розрахункова модель ферми в середовищі Solid works Simulation.

Після виконаного збору навантажень та аналітичного визначення зусиль зусиль в елементах виконаних з тавpів, кутиків та листового матеріалу (розділи 2.1-2.2) для перевірки достовірності аналітичних розрахунків було виконано комп'ютерне дослідження ферми в Solid works Simulation (рис.2.8).

На графічному відображенні (рис. 2.8) зазначе максимальне (7829 Н) та мінімальне (−7348 Н) значення внутрішніх зусиль. Для оцінювання точності чисельного моделювання порівняємо отримані результати з даними аналітичного розрахунку.

Як свідчать дані таблиці 2.3, максимальні значення зусиль у стрижнях 4–5 та 5–6 дорівнюють 8000 Н, тоді як мінімальні значення у стрижнях 11–12 та 12–13 становлять −7500 Н. Порівняння показує, що результати, отримані в SolidWorks Simulation, незначно відрізняються від аналітичних значень, що свідчить про достатню узгодженість розрахунків.

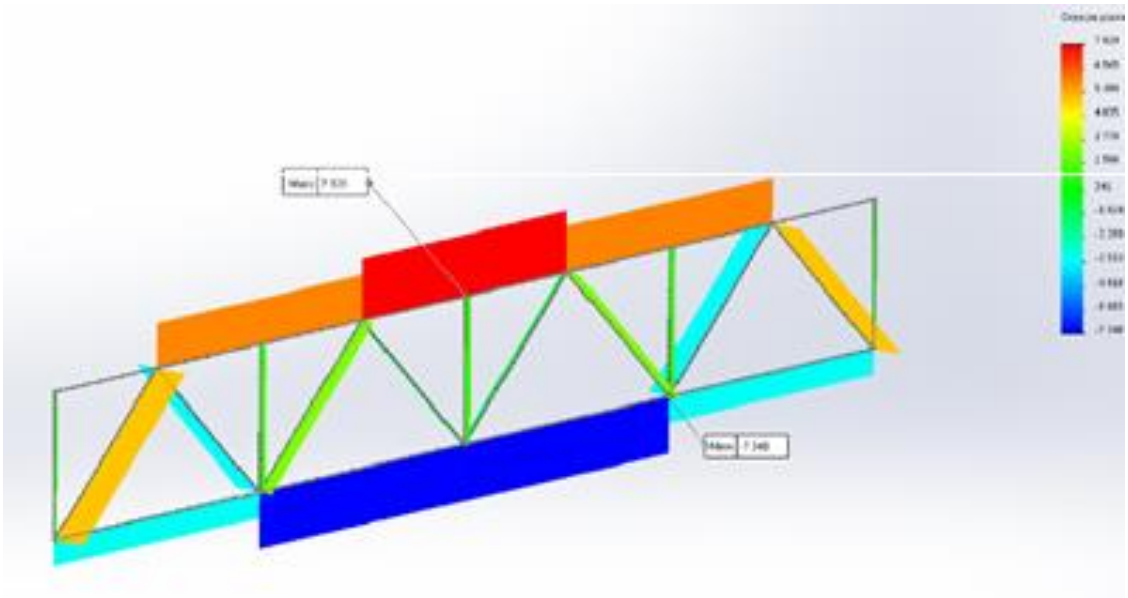


Рис.2.8. Графічне зображення осьових зусиль, як діють в стрижнях ферми .

Для підтвердження достовірності отриманих результатів було проведено додаткову перевірку внутрішнього зусилля в одному з обраних стрижнів з використання інструмента «Зондування» (рис. 2.9).

За результатами перевірки встановлено, що величина зусилля в досліджуваному стрижні становить 4886,6 Н. Отримане значення практично збігається з результатом аналітичного розрахунку для стрижня 10–2, який дорівнює приблизно −5 кН.

Таким чином, відповідність результатів чисельного моделювання аналітичним даним свідчить про правильність виконаних розрахунків. Підсумкові результати проведеного аналізу систематизовано та наведено в таблиці 2.Д2.

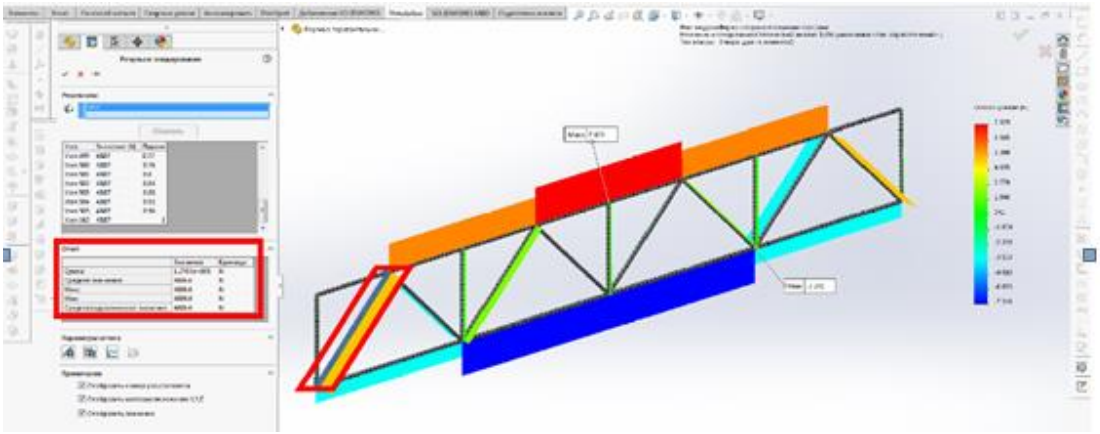


Рис. 2.9. Графічне зображення результатів застосування інструмента «Зондування».

З використанням розрхункової сили P=119, 67 кН визначаємо осьові зусилля в стрижнях ферми від розрахункових навантажень (рис.2.10).

Таблиця 2.Д2. Результати визначення зусиль в стрижнях ферми в середвищі SolidWorks Simulation

Статический анализ 1-Сила-1.txt — Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

10:29, четверг, Август 05, 2021
Название исследования:Статический анализ 1

Имя балки	Элемент	Окончание	По оси (N)	Сдвиг1 (N)	Сдвиг2 (N)	Момент 1 (N.m)	Момент 2 (N.m)	Вращающий момент (N.m)
Балка-1(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[5])			-10.743	3.231	7.6799e-014	-2.1293e-013	7.4144	4.7011e-014
Балка-2(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[15])			987.17	-3.7604e-016	-7.4696	12.002	-8.4693e-016	6.6976e-014
Балка-3(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[20])			2111.3	0.00019906	3.5184	-10.856	-0.00028775	2.0106e-014
Балка-4(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[14])			496.77	-3.45e-016	10.743	-30.487	-6.8992e-016	2.007e-014
Балка-5(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[16])			984.33	-2.6218e-014	1.0704e-005	-3.8602e-005	-5.5157e-014	8.6713e-015
Балка-6(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[25])			4892.6	0.00072642	7.9021	-28.714	0.0021331	-2.2976e-014
Балка-7(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[1])			1965.8	-9.675	-6.4593e-014	1.2286e-013	-34.658	1.0122e-014
Балка-8(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[9])			7826.4	7.8464	-3.5265e-014	1.8418e-013	18.25	-2.1728e-015
Балка-9(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[12])			-10.743	-3.2311	-8.7624e-014	2.4274e-013	-7.4146	6.9027e-016
Балка-10(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[6])			5855.7	-9.3097	-1.6378e-011	2.6019e-012	-20.215	-1.1783e-013
Балка-11(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[17])			987.17	3.1648e-012	7.4696	-12.002	3.7929e-013	-2.0862e-013
Балка-12(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[23])			2111.3	-0.00026029	-3.5214	10.854	-0.00080638	-2.1648e-014
Балка-13(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[4])			1965.8	9.675	-2.4022e-015	9.6161e-015	34.658	-1.6575e-017
Балка-14(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[21])			-687.08	0.00016042	-2.1551	9.1591	0.00062873	1.7773e-014
Балка-15(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[7])			5863.2	3.5322	1.9479e-011	-2.0285e-012	9.4345	7.1516e-014
Балка-16(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[10])			5863.2	-3.5321	2.3993e-012	-2.6147e-013	-9.4344	1.529e-015
Балка-17(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[3])			-1965.8	0.82035	8.6634e-013	-1.3691e-013	8.0941	4.4266e-015
Балка-18(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[24])			-3480.7	5.9183e-005	-0.63461	5.272	0.00039847	-2.2424e-014
Балка-19(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[19])			-3480.7	1.9718e-005	0.62086	-5.2738	0.00014178	2.065e-014
Балка-20(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[2])			-1965.8	-0.82033	-1.2383e-012	1.5941e-013	-8.0941	-1.4568e-014
Балка-21(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[13])			496.77	-8.8638e-012	-10.743	30.487	-2.5197e-011	-1.7465e-014
Балка-22(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[18])			4892.6	-0.00020275	-7.8823	28.71	-9.3998e-005	5.7789e-014
Балка-23(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[22])			-687.08	0.00012162	2.1547	-9.1589	-0.00033985	-3.1692e-014
Балка-24(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[11])			5855.7	9.3096	-3.8669e-012	5.3035e-013	20.215	-1.2553e-014
Балка-25(Квадратная труба 100 x 100 x 3(2)[8])			7826.4	-7.8464	-2.9216e-012	-4.5966e-013	-18.25	2.2107e-014

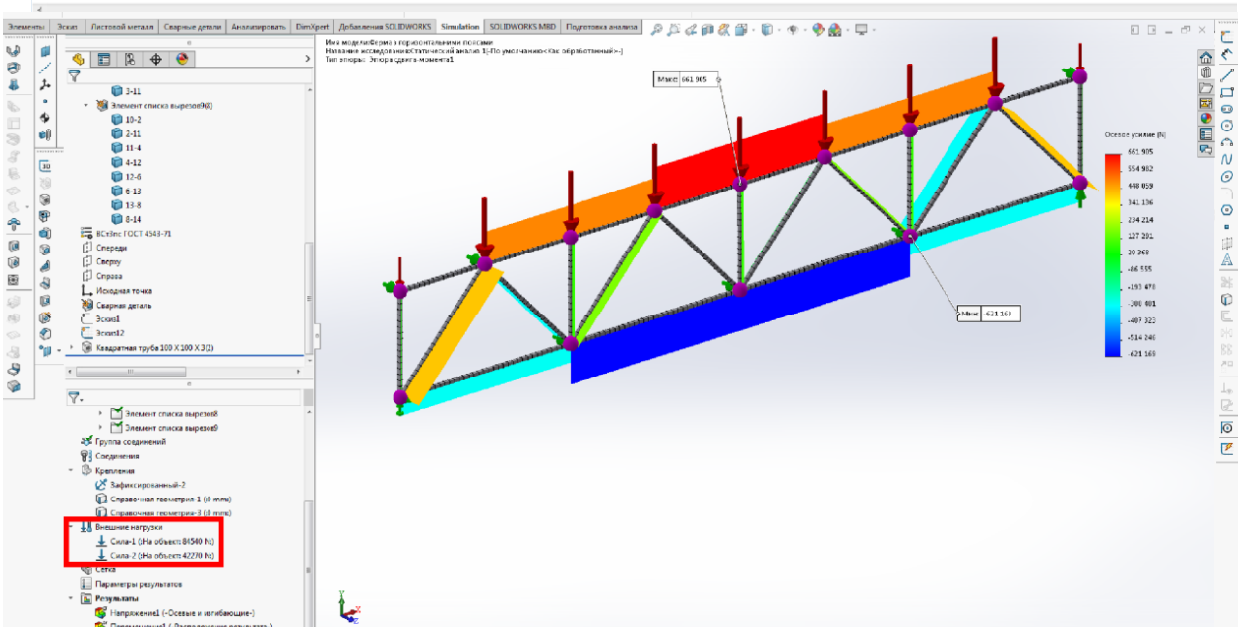


Рис.2.10. Графічне зображення осьових зусиль в стрижнях ферми від розрахункового навантаження.

Результати визначення осьових зусиль в стрижнях ферми від розрахункового навантаження в середовищі SolidWorks Simulation (наведені на рис.2.10) відповідають результатам аналітичного розрахунку.

Максимальне розтягуючи зусилля для ферми складає 659 кН, максимальне стискаюче зусилля - 623 кН.

2.3.2. Комп'ютерний розрахунок ферми.

За аналогією з попереднім прикладом розробляється ескіз ферми середовищі SolidWorks Simulation (рис. 2.11), після чого проводиться її розрахунок. Власна вага металевих стрижнів не враховувалась.

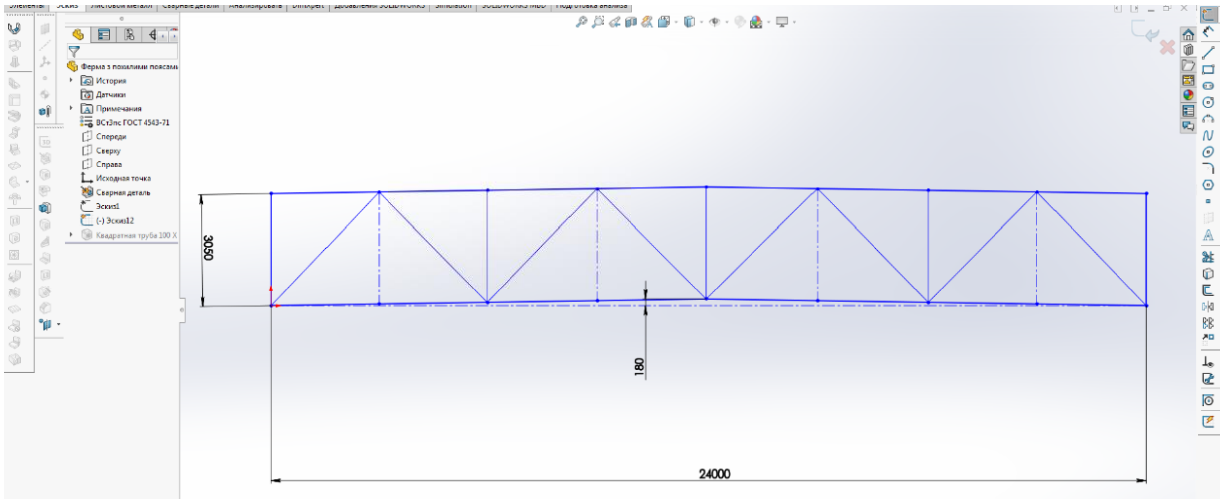


Рис. 2.11 Графічне зображення досліджуємої ферми.

Графічне зображення осьових зусиль від розрахункових навантажень в стрижнях ферми наведені на рис. 2.10 .

Для побудови ферми використовуються сортаментні профілі, обрані за результатами попереднього аналітичного розрахунку. Верхній і нижній пояси ферми виконані з таврових профілів, а стійки та розкоси — зі зварених між собою кутників із використанням листового металу.

Для проведення загального аналізу виконується розрахунок усієї конструкції ферми, яка складається з двох дзеркально симетричних відправних елементів Ф-1. При цьому листові елементи з'єднань не враховуються в розрахунковій моделі. У розрахунку також враховано дію сили тяжіння, зокрема власну вагу конструкційних профілів.

За результатами розрахунку будуються графічні зображення розподілу напружень, переміщень стрижнів і вузлів та коефіцієнта запасу міцності елементів ферми під впливом зовнішніх навантажень рис. 2.12–2.1Д2.

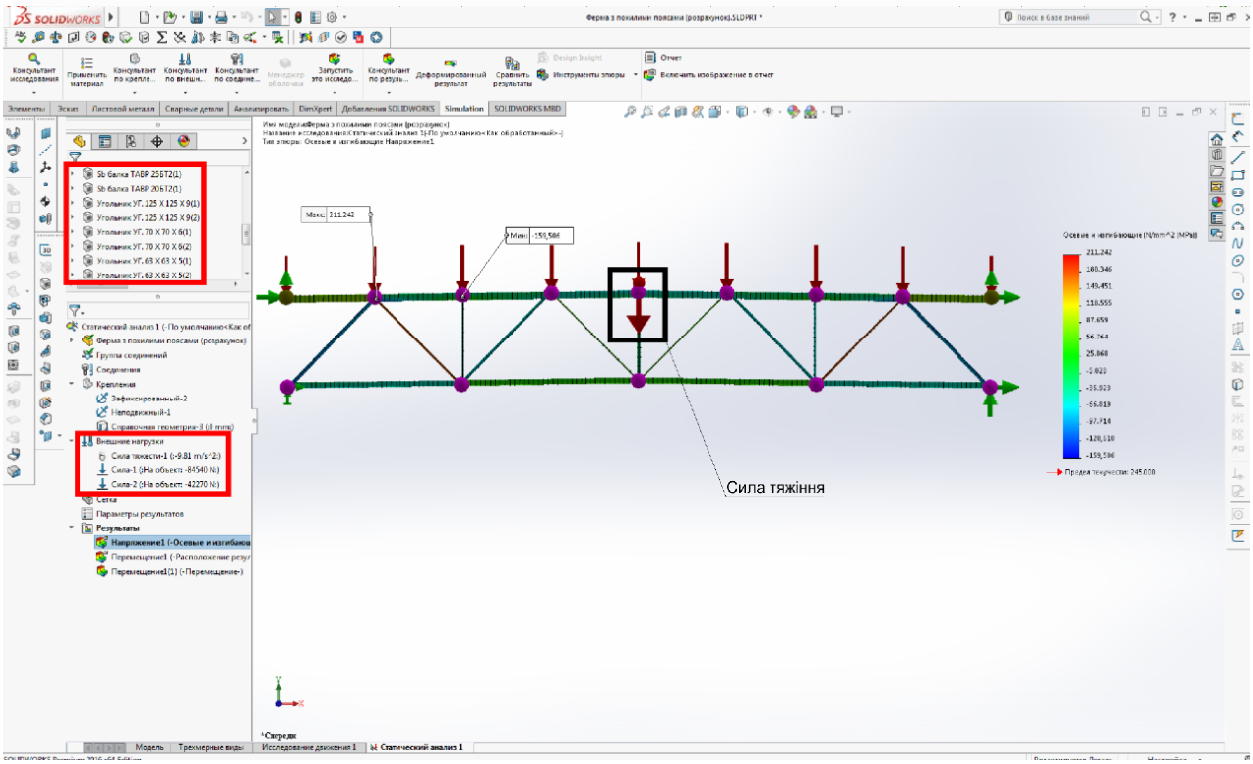


Рис. 2.12. Графічне зображення напружень в елементах ферми.

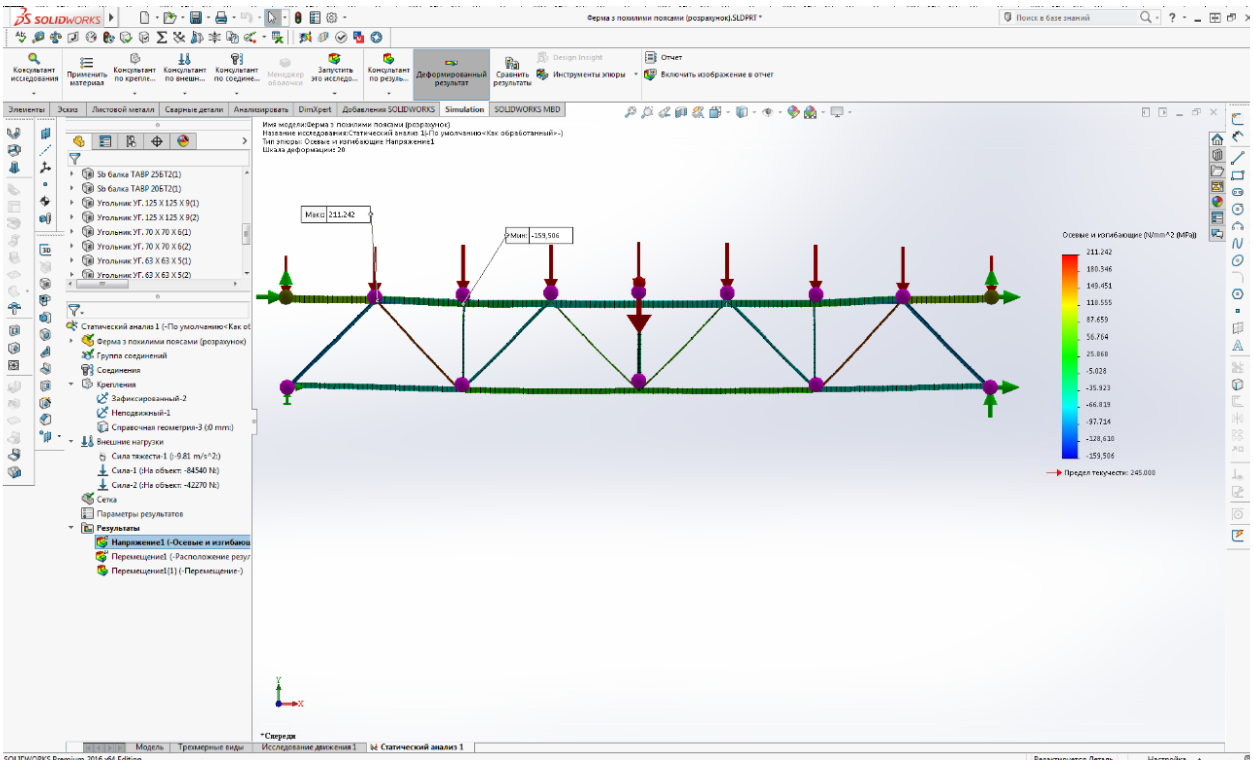


Рис. 2.13. Графічне зображення напружень в елементах ферми в деформованому стані.

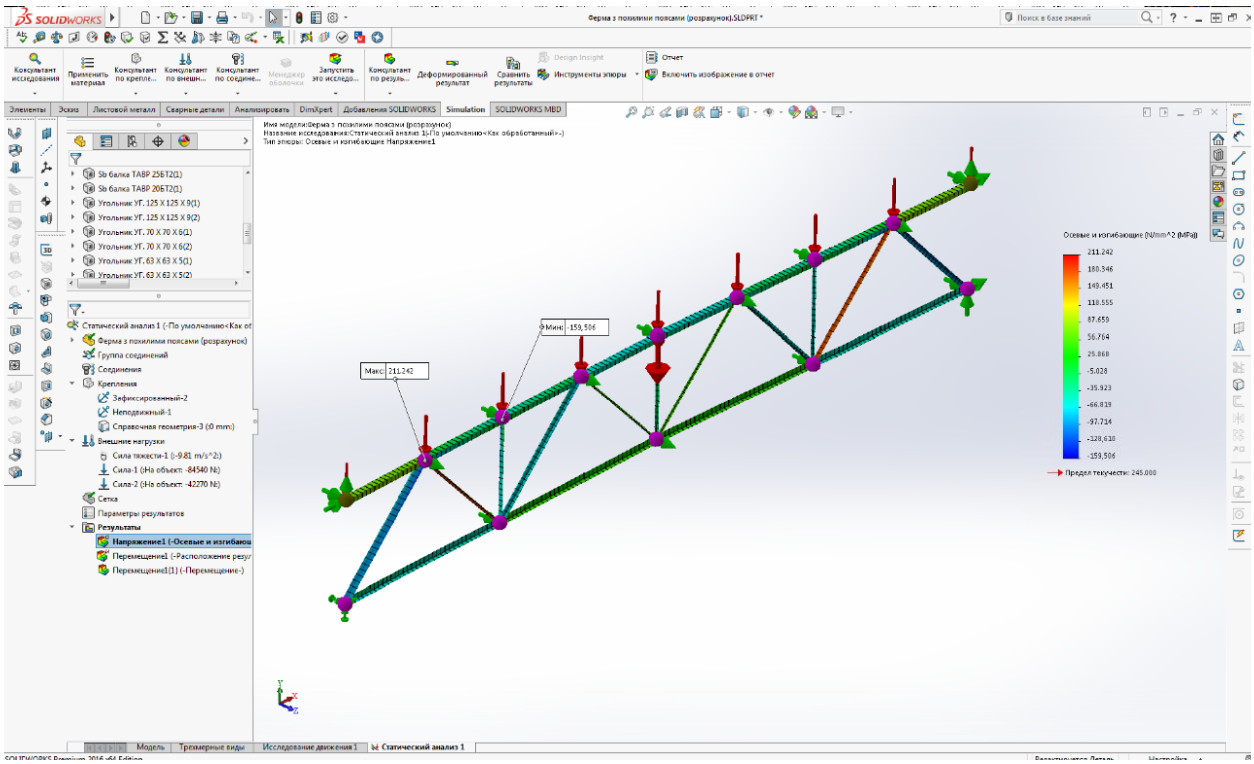


Рис. 2.14. Графічне зображення напружень в стрижнях ферми в ізометрії.

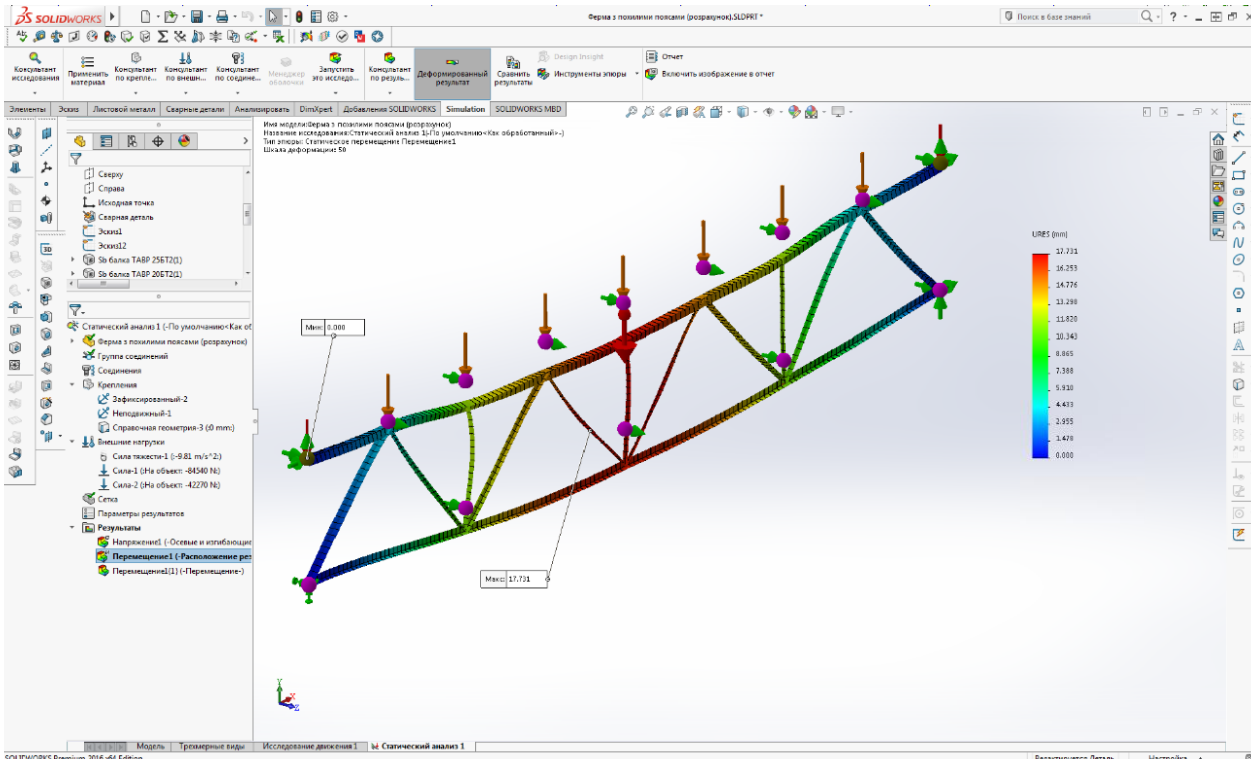


Рис. 2.15. Графічне зображення переміщень стрижнів та вузлів ферми .

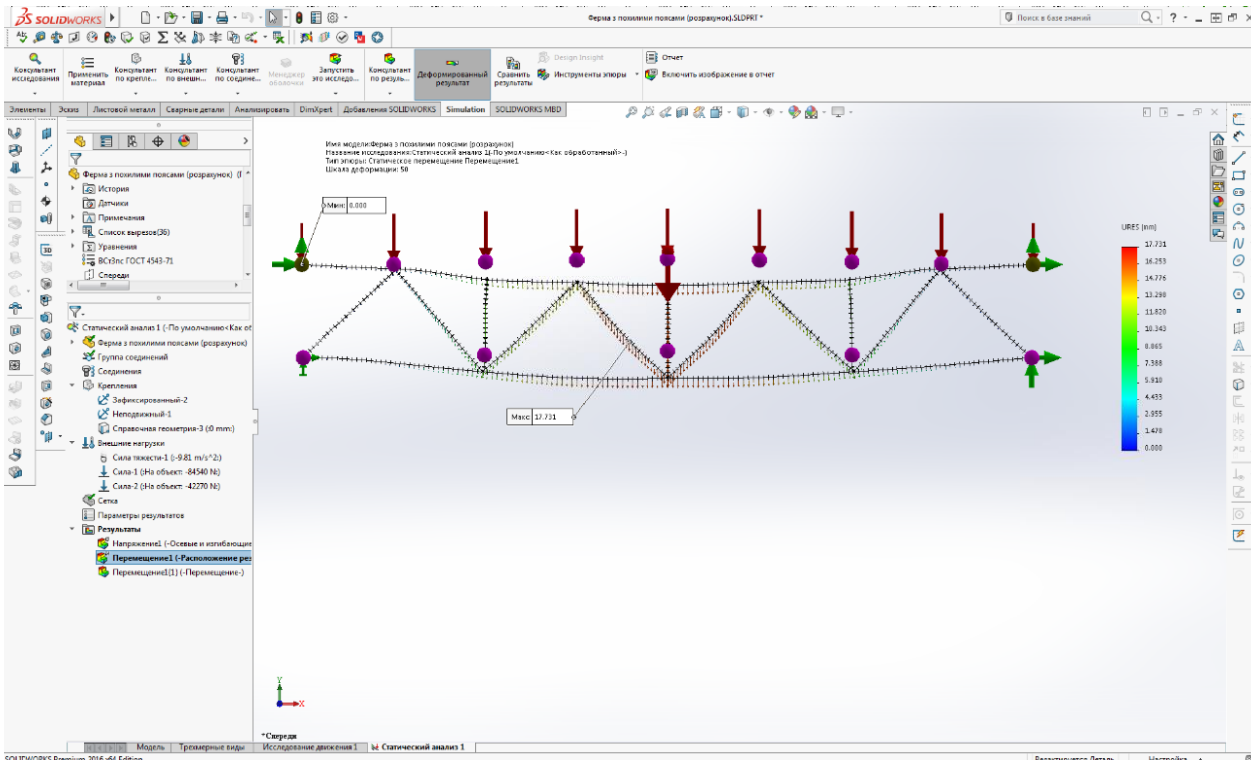


Рис. 2.16. Графічне зображення переміщень стрижнів та вузлів ферми у векторному вигляді.

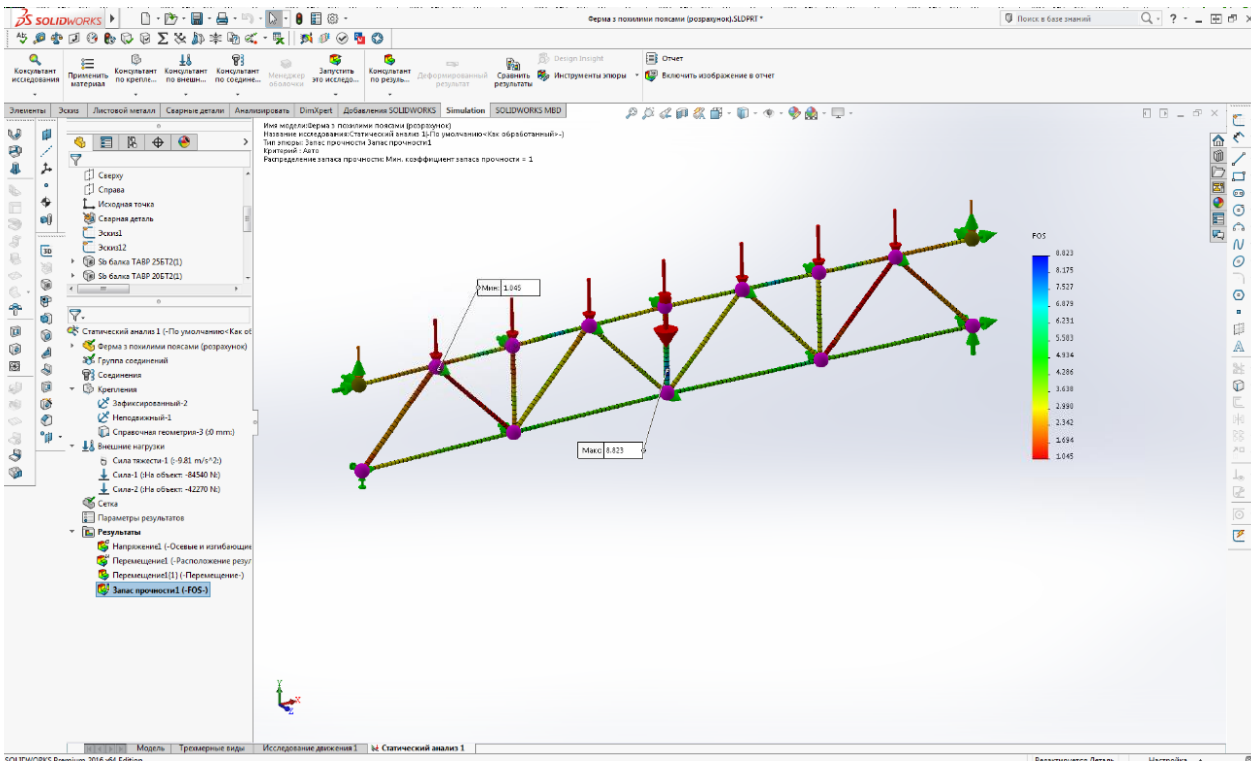


Рис. 2.1Д2. Графічне зображення розподілу коефіцієнтів запасів міцності для деталей ферми

Аналіз результатів розрахунку показав, що для стрижнів 2–11 та 13–8 мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить 1,05, що є нижчим за допустиме значення 1,2.

З огляду на це виникла необхідність у зміні поперечних перерізів зазначених елементів ферми.

З метою підвищення несучої здатності розкосів кутник перерізом 70×70×6 було замінено на кутник 70×70×Д2. Після внесення відповідних конструктивних змін проведено повторний розрахунок металоконструкції ферми, результати якого представлені на рис. 2.18.

Згідно з отриманими результатами, мінімальний запас міцності конструкції становить 1,26, що перевищує встановлену нормативну межу та свідчить про задовільну міцність усіх елементів ферми.

Таким чином, шляхом збільшення поперечного перерізу стрижнів 2–11 та 13–8 до 70×70×7 досягнуто необхідного рівня міцності та забезпечено відповідність металоконструкції ферми заданим розрахунковим вимогам.

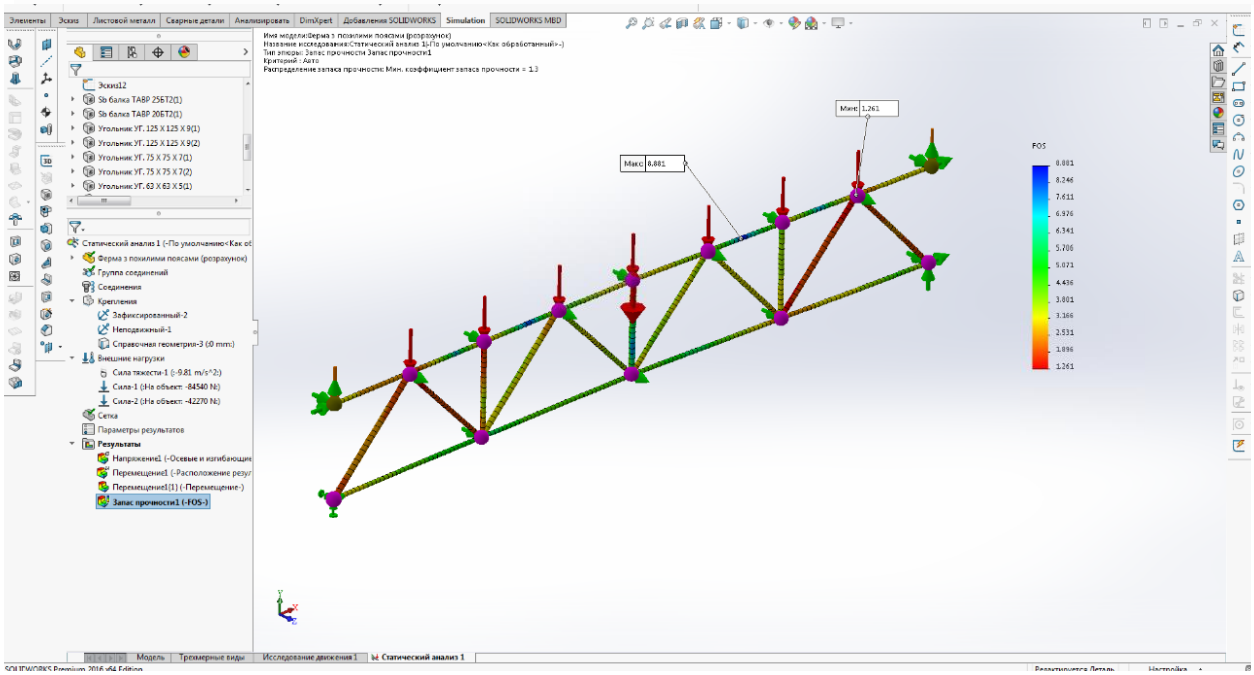


Рис. 2.18. Графічне зображення розподілу коефіцієнтів запасів міцності для стрижнів ферми після внесення відповідних конструктивних змін

2.3.3. Розрахунок відправного елементу ферми Ф-1.

Розрахунок виконуватиметься з урахуванням конструктивних особливостей твердотільних деталей, виготовлених із листового металу.

Ферма складається з двох дзеркально розташованих елементів Ф-1. З метою спрощення розрахункової моделі та скорочення часу обчислень аналізуватиметься лише одна половина ферми — базовий елемент Ф-1.

Оскільки базовий елемент Ф-1 конструктивно є складовою частиною цілісної ферми, його граничні умови повинні враховувати взаємодію із суміжною частиною конструкції. З одного боку елемента задається жорстке закріплення. З протилежного боку доцільно застосувати шарнірне закріплення з можливістю переміщення вздовж осі Y. Величина цього переміщення визначатиметься на підставі результатів попереднього розрахунку, зокрема графічного зображення переміщень.

З використанння інструмента «Зондування» визначимо величини переміщень у центральних вузлах ферми. Отримані значення будуть використані для задання відповідних граничних умов у подальшій розрахунковій моделі

Величина переміщень елементів ферми становить 16,693 мм для верхнього поясу та −16,374 мм для нижнього поясу.

Далі виконуємо побудову моделі відправного елемента Ф-1 і формуємо його розрахункову схему з урахуванням відповідних умов закріплення конструктивних елементів (рис. 2.19).

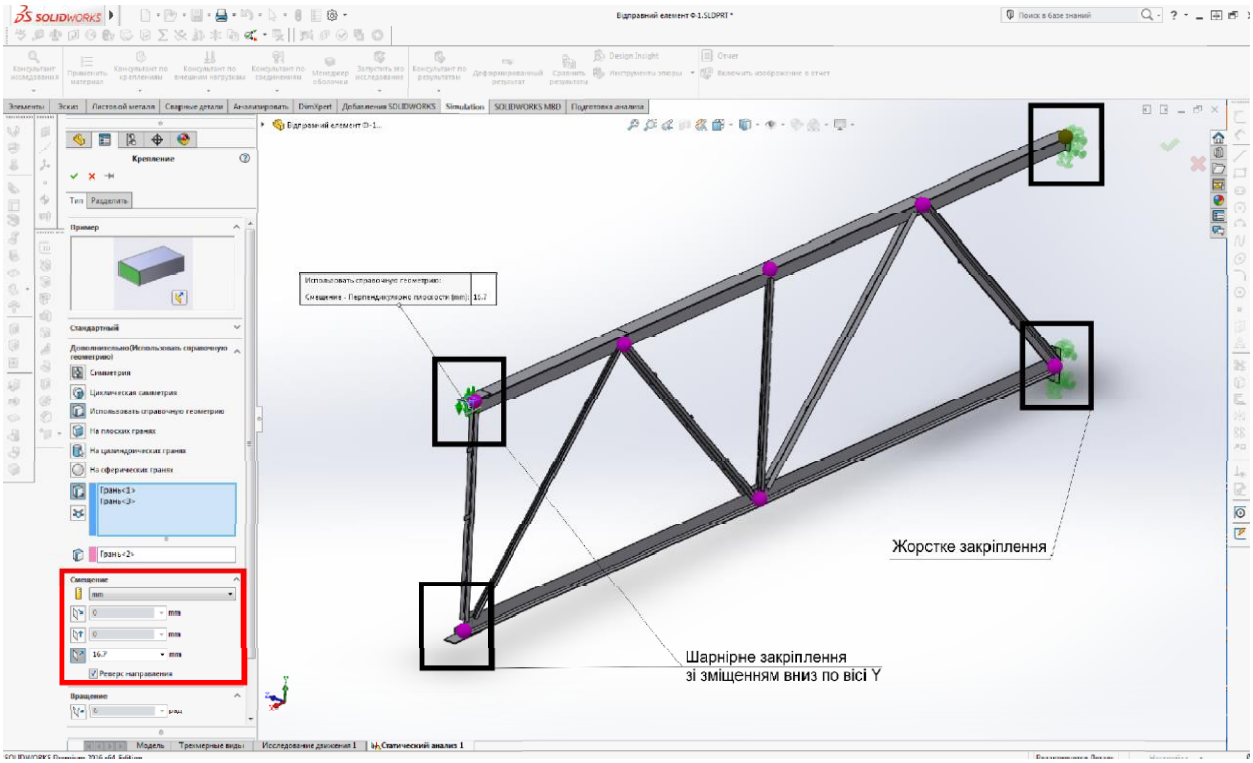


Рис. 2.19. Р озрахункова схема відправного елемента Ф-1 з урахуванням умов закріплення.

Будуються графічні відображення напружень в стрижнях ферми, переміщень стрижнів та вузлів та озподілу коефіцієнтів запасів міцності ферми Ф-1 (рис.2.20 – 2. 22)

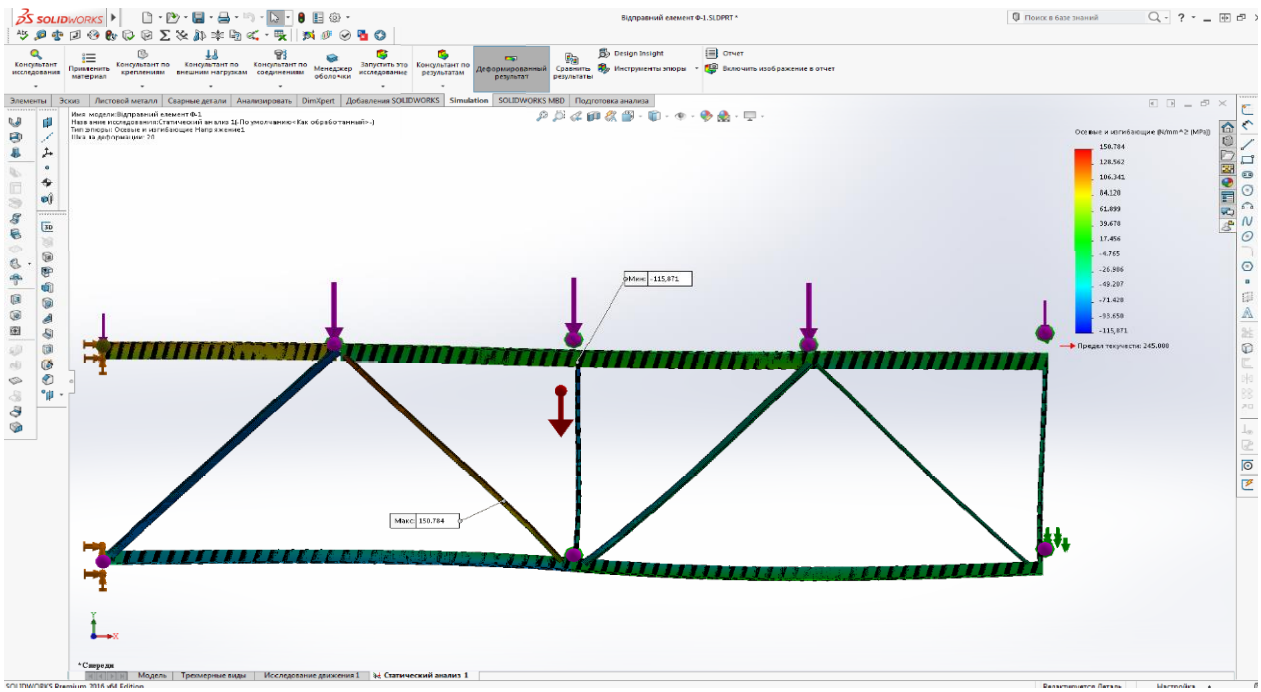


Рис.2.20. Графічне відображення розподілення напружень в стрижнях відправного елемента Ф-1

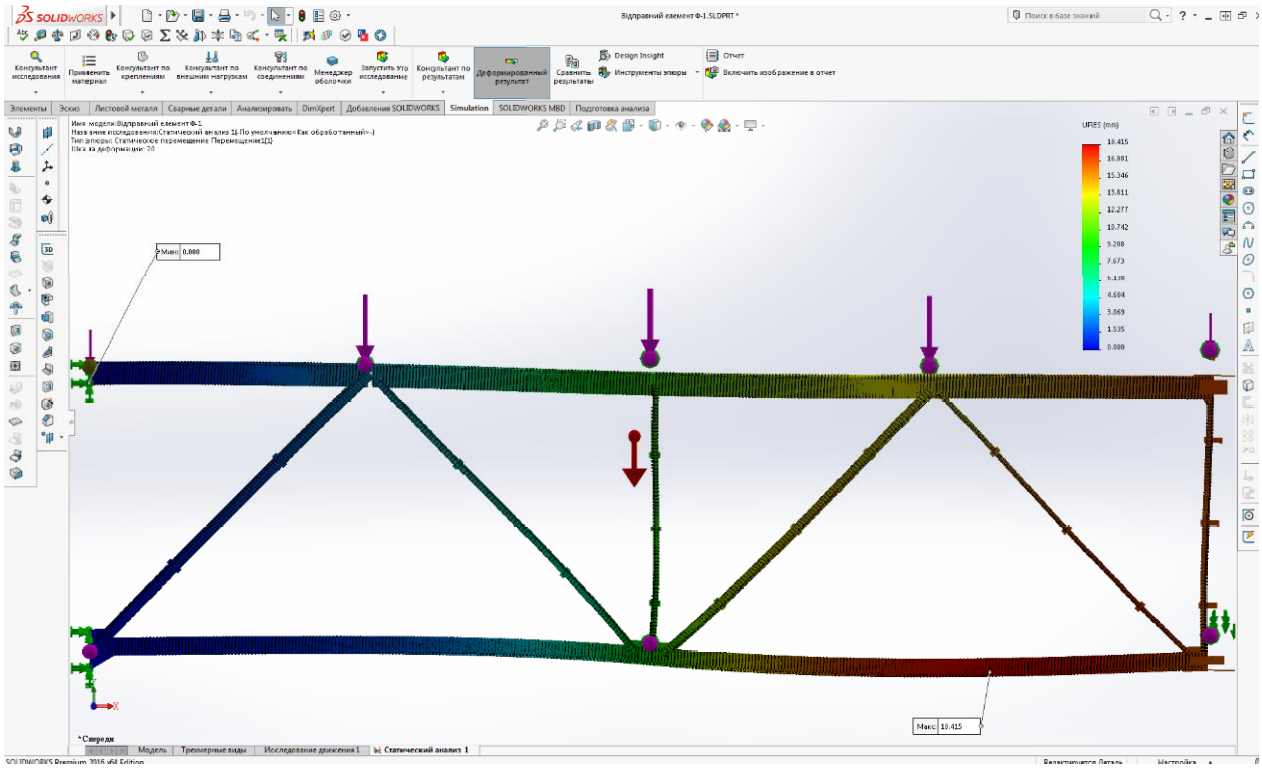


Рис.2.21. Графічне відображення переміщень стрижнів та вузлів відправного елемента Ф-1

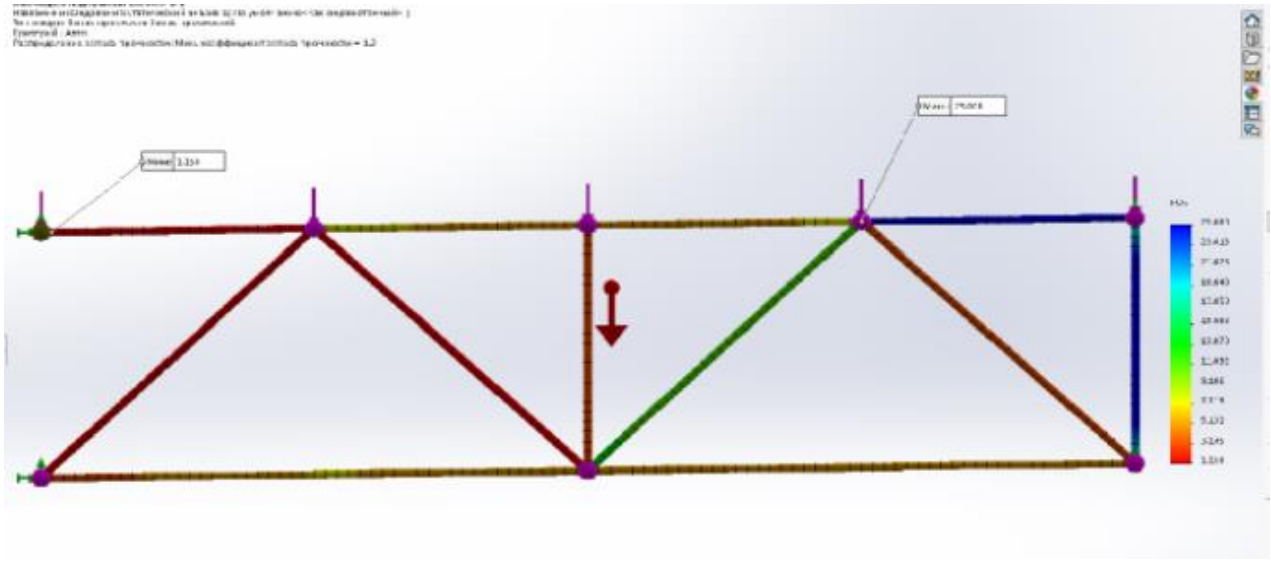


Рис.2.22. Графічне відображення розподілу коефіцієнтів запасів міцності відправного елемента Ф-1

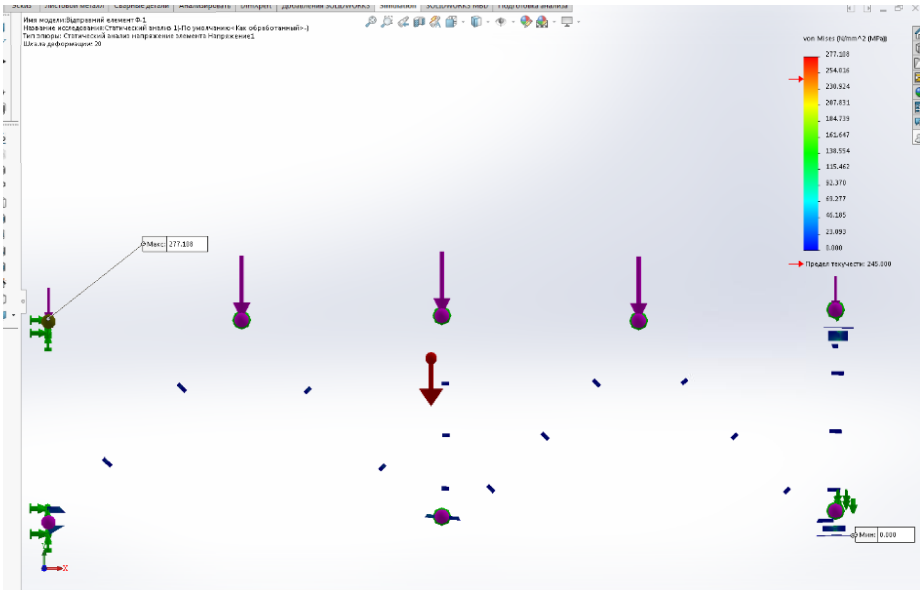


Рис. 2.23. Графічне відображення розподілення напружень в деталях з листового металу відправного елементу Ф-1.

За результатами проведеного аналізу встановлено, що в окремих деталях із листового металу виникають підвищені напруження. Для більш наочного оцінювання опору конструкції втомі побудуємо відповідне графічне відображення. Найбільш навантажені та потенційно небезпечні ділянки буде виділено червоним кольором, що дасть змогу швидко визначити зони можливого виникнення втомних пошкоджень.

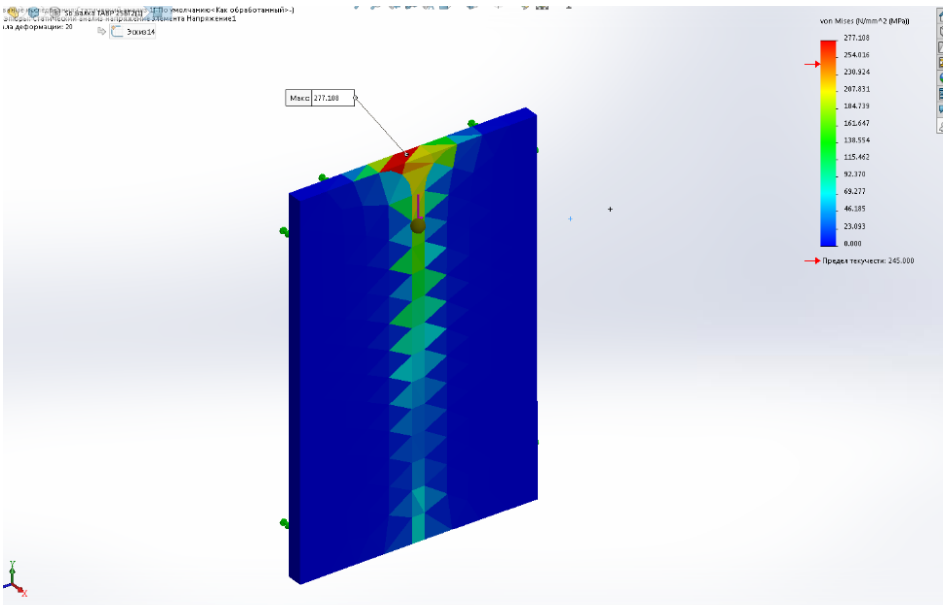


Рис.2. 24. Графічне відображення розподілення напружень в закладній деталі відправного елементу Ф-1.

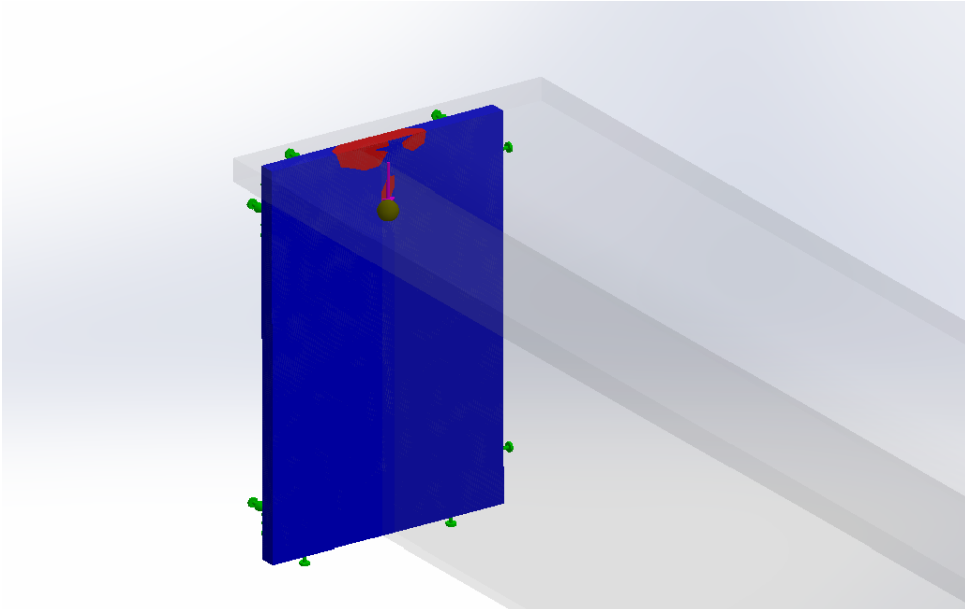


Рис. 2.25. Графічне відображення результатів перевірки на витривалість закладної деталі відправного елемента Ф-1 (а).

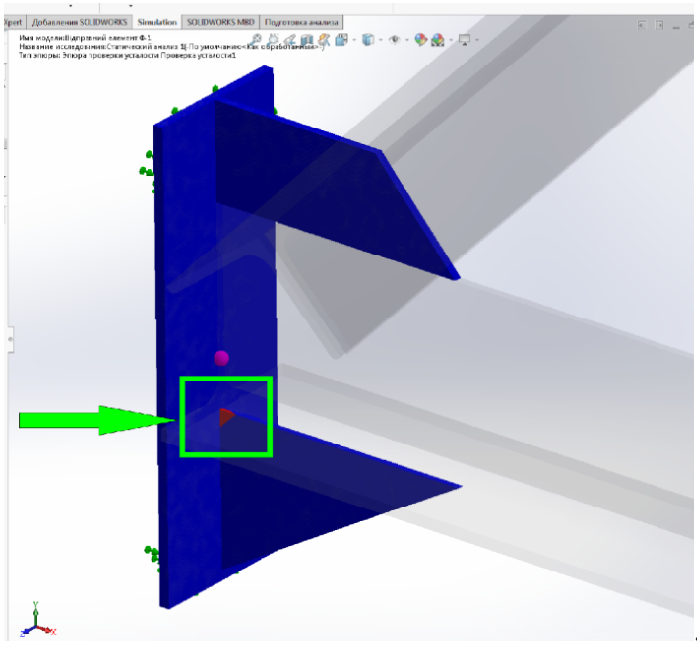


Рис. 2.25. Графічне відображення результатів перевірки на витривалість закладної деталі відправного елемента Ф-1 (б).

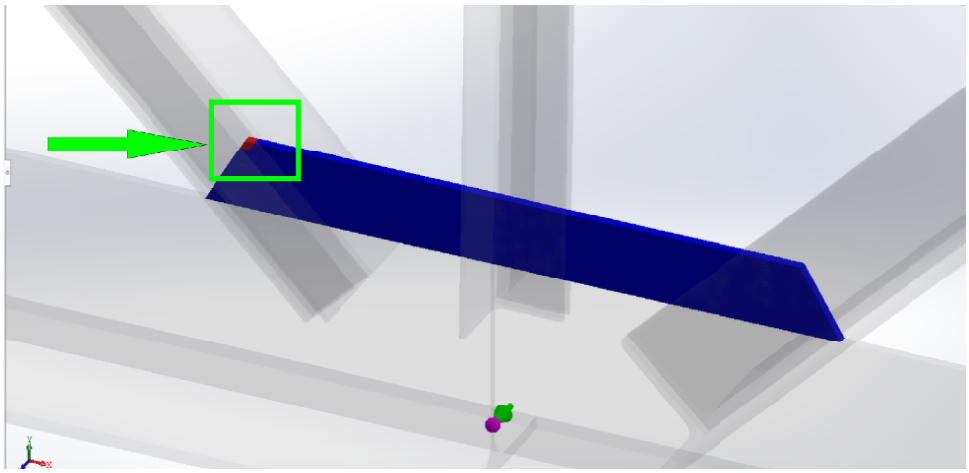


Рис. 2.25. Графічне відображення результатів перевірки на витривалість закладної деталі відправного елемента Ф-1 (в).

Найбільші значення напружень спостерігаються в областях їх концентрації. Для конструкції (рис.25а) доцільно збільшити габарити закладної деталі, тоді як у випадках (рис.25б) та (рис.25в) рекомендовано виконати зрізання кутів у вигляді фасок. Після внесення зазначених змін розподіл напружень набуває прийнятних значень, що підтверджується результатами, представленими на рис. 2.26 та 2.2Д2.

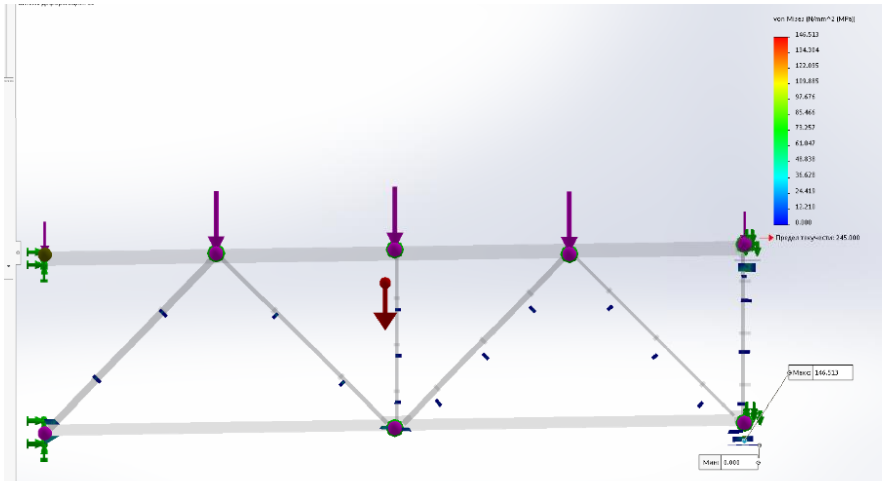


Рис.2. 26. Графічне відображення напружень в деталях з листового металу відправного елементу Ф-1після зрізання кутів у вигляді фасок.

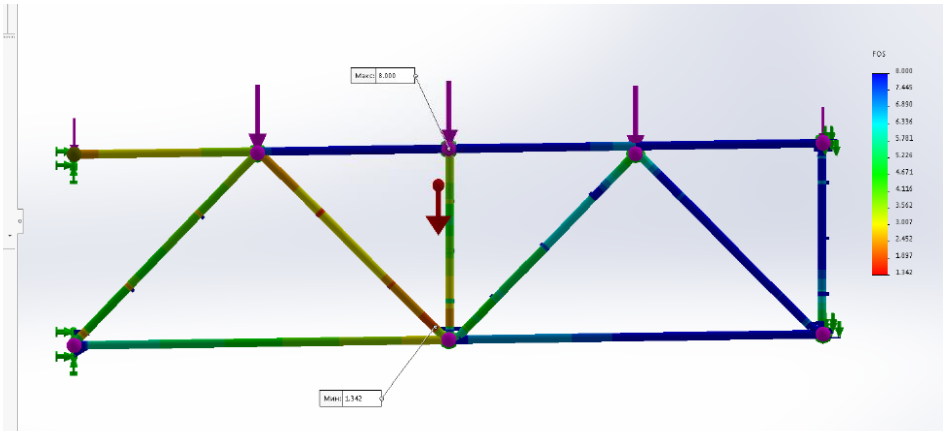


Рис.2.2Д2. Графічне відображення розподілу коефіцієнтів запасу міцності деталей відправного елементу Ф-1після зрізання кутів у вигляді фасок.

Таким чином запропанооновані зміни забезпечують рівень розподілу напружень та коефіцієнтів запасу міцності деталей відправного елементу Ф-1, таким, що перевищує встановлені нормативні межі та свідчить про задовільну міцність усіх деталей ферми.

2.3.4. Використання ШІ Gemini для оптимізації конструкції металевої ферми виробничого приміщення.

З метою її облегшення ферми і прискорення підбору профілів прийнято рішення застосувати для аналізу ШІ Gemini .

Для запиту до ШІ Gemini надаємо зображення ферми з результатами комп'ютерного моделювання (рис.2.28).

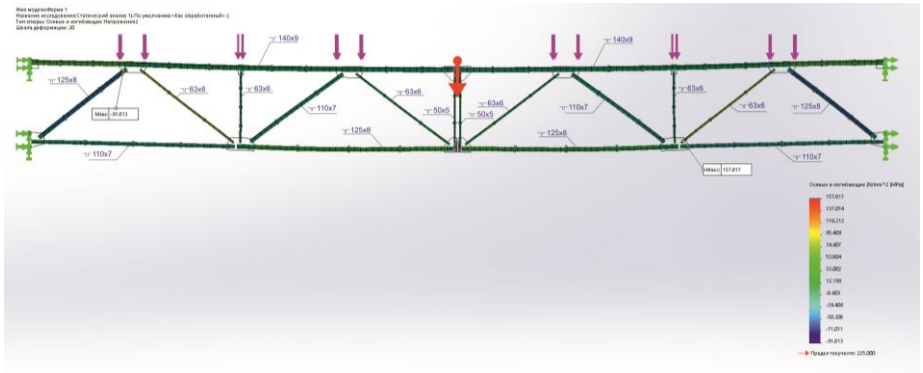


Рис.2.28. Зображення - запит до ШІ Gemini.

Сформулюємо запит до ШІ Gemini: Зараз мінімальний запас міцності Необхідно зробити конструкцію легшою, з мінімальним запасом міцності При цьому, необхідно відійти від кутників і листового металу, перейти до профільної труби.

Відповідь та рекомендації до ШІ Gemini: Зрозуміло. Зменшуємо запас міцності з 1.5 до 1.2, повністю переходимо на профільну трубу (відмовляючись від листового металу та кутників), а також спираємось на поточну епюру напружень, де максимальні напруження становлять 15Д2.817 МРа при межі течії 225.000 МРа.

Нам потрібно знизити перерізи найбільш завантажених елементів, або наблизити їх до розрахункового запасу 1.2, де допустиме напруження складатиме 225/1,2 =187,5 МРа.

Оскільки максимальні напруження наразі нижчі за 18Д2.5 МРа, ми маємо резерв для полегшення конструкції за рахунок переходу на тонкостінні або менші квадратні/прямокутнітрубні профілі.

Ось проєкт оптимізації конструкції ферми виключно на профільній трубі

1. Зміна профілів елементів ферми (перехід на трубу)

Елемент ферми	Поточний профіль	Новий профіль (профільна труба)	Обґрунтування за епюрою
Верхній пояс	140×9	**Труба** 120×6 **або** 100×5	Верхній пояс працює переважно на стиск. Зменшення товщини стінки та висоти знизить вагу, але збереже стійкість у межах допустимого запасу 1.2.
Нижній пояс	110×7	**Труба** 90×5 **або** 100×4	Нижній пояс розтягнутий (максимальні напруження зосереджені в зоні вузлів). Перехід на меншу трубу дасть економію маси без ризику втрати несучої здатності.
Краєві розкоси	125×8	**Труба** 80×4	Навантаження на опорні ділянки помірні, поточний запас тут надлишковий.
Проміжні розкоси	63×6 та 110×7	**Труба** 50×3 **та** 70×4	Поточні профілі 63×6 та 110×7 занадто важкі для таких зусиль. Труба 50×3 ідеально підійде для розкосів із мінімальними зусиллями.
Центральні стійки	50×5	**Труба** 40×3 **або** 45×3	У центрі прикладене зосереджене навантаження (червона стрілка). Профіль 40×3 витримає локальний згин і стиск із новим коефіцієнтом запасу 1.2.

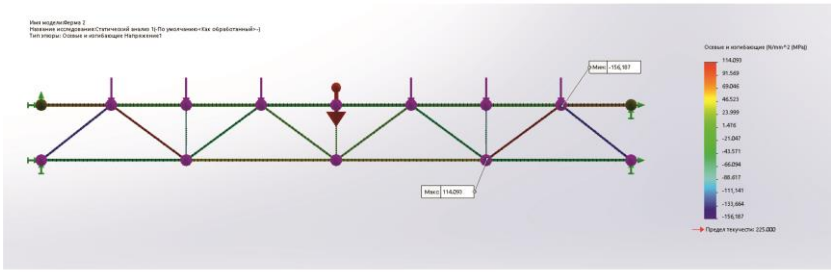
2. Конструктивні рекомендації щодо вузлів з труб

Оскільки ми повністю відмовляємося від листового фасонного металу та кутників, з'єднання стержнів ферми між собою вимагатиме безпосереднього примикання труб:

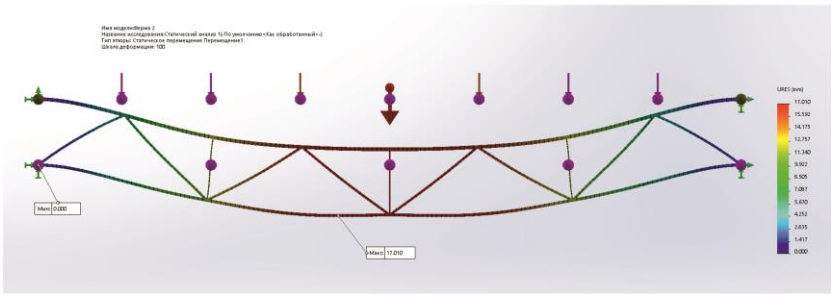
- **Тип з'єднань:** Вузли виконуються шляхом прямого зварювання труб (наприклад, розкоси та стійки приварюються впритул до стінок поясових труб із попереднім фігурним торцюванням (фрезеруванням/вирізом під радіус)).
- **Підсилення вузлів:** У місцях концентрації напружень (особливо під центральною точкою прикладання сили та на опорних вузлах) слід передбачити внутрішні заглушки або локальне збільшення товщини стінки поясної труби (якщо це технологічно можливо), або підібрати сусідній типорозмір труби, щоб уникнути місцевих деформацій стінок.

Для перевірки міцностних характеристик рекомендованої ферми виконуємо комп'ютерне дослідження ферми в Solid works Simulation. Результати досліджень наведено на рис.2.29, а на рис. 2.30, масові характеристики досліджуваної ферми (№ 1) та ферми, рекомендованої ШІ Gemini (№2).

ЕПЮРА НАПРУЖЕНЬ ФЕРМИ №2



ЕПЮРА ПЕРЕМІЩЕНЬ ФЕРМИ №2



ЕПЮРА РОЗПОДІЛУ ЗАПАСУ МІЦНОСТІ ФЕРМИ №2

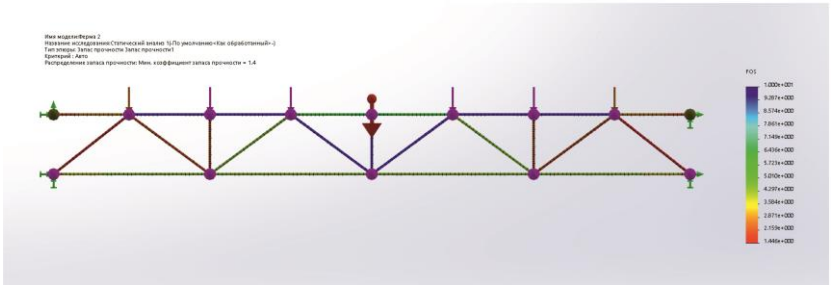


Рис.2.29 Результати визначення міцностних характеристик ферми, рекомендованої ШІ Gemini

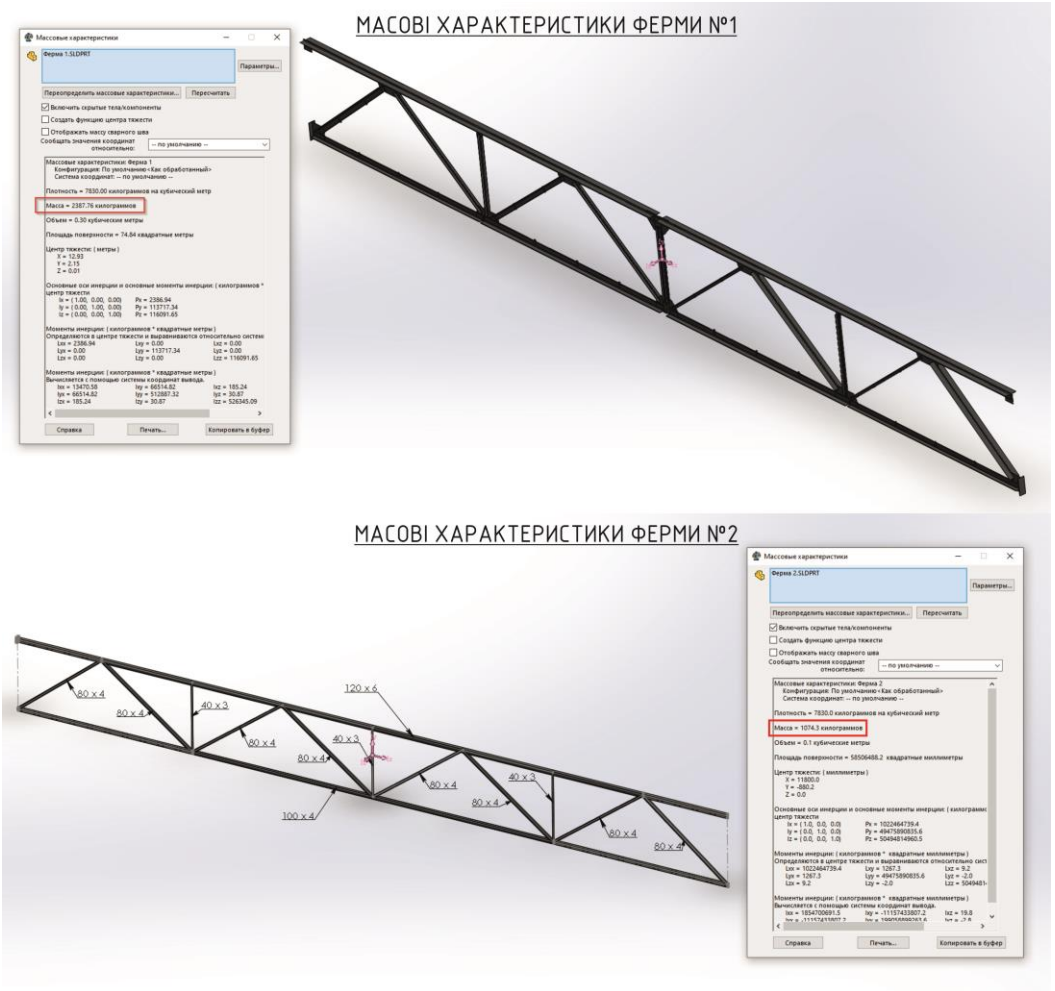


Рис.2.30. Масові характеристики досліджуваної ферми (№ 1) та ферми, рекомендованої ШІ Gemini (№2).

Аналіз наведених результатів дослідження ферми дозволяє зробити висновки:

максимальне напруження має місце в центральному стояку і складає 114 МПа при границі міцності матеріалу 225 Мпа [1], максимальна деформація ферми має місце в центрі і складає 0,017 м, згідно [1], мінімальні допустимі прогини ферм довжиною 24 м в залежності від форми навантажень складають 0,212 м; мінімальне значення коефіцієнту запасу міцності деталей ферми складає 1,4 при тому, що достатній запас запас міцності складає – 1,2 [1].

Маса досліджуваної ферми (№ 1) складає 2387, 76 кг, а ферми, рекомендованої ШІ Gemini (№2) – 1074, 3 кг.

Таким чином ферма з використанням квадратних/прямокутних трубних профілів, що рекомендована ШІ Gemini, може бути прийнята для подальшого проектування.

В повному обсязі розрахунки з використанням програмного комплексу SolidWorks на підставі яких побудовано епюри, що наведені на рис.2.4—2.37 наведено в додатку 2.

2.4. Основи і фундаменти

2.4.1 Оцінка інженерно-геологічних умов

Шар №1 – насипний грунт, потужність – 0,45 - 0,5 м. Основою для фундаментів бути не може, відповідно його зрізують і вивозять.

Шар №2 – грунтово-рослинний шар, потужність – 0,7 - 0,8 м.

Шар №3 – суглинок, потужність – 1,4 - 1,5 м.

1. Визначаємо найменування грунту:

$$I_p = W_c - W_p = 29 - 22 = 7\%.$$

Відповідно [9] грунт відноситься до суглинків.

2. Визначаємо коефіцієнт пористості:

$$e = \frac{P_s}{P}(1+W) - 1 = \frac{2,71}{1,66}(1+0,23) - 1 = 1.$$

3. Визначаємо потужність сухого грунту:

$$P_d = \frac{P}{1-W} = \frac{1,66}{1+0,23} = 1,35 \text{ т/м}^3.$$

4. Визначаємо ступінь водонасичення:

$$S_r = \frac{P_s \cdot W}{P_n \cdot e} = \frac{2,71 \cdot 0,23}{1,1} = 0,62.$$

5. Визначаємо коефіцієнт текучості:

$$I_c = \frac{W - W_p}{W_c - W_p} = \frac{0,23 - 0,22}{0,29 - 0,22} = 0,14.$$

Відповідно до таб. 2 [23] грунт шару №3 – суглинок темно-сірий, середнього ступеню водонасичення, напівтвердий. Оскільки відносна просадочність $\xi_{se} = 0,07 > [\xi_{se}] = 0,01$ – грунт просадковий, через це прорізаємо його пальовим фундаментом.

Шар №4 – суглинок лесовий:

$$I_p = W_l - W_p = 0{,}27 - 0{,}19 = 0{,}08 = 8\,\%.$$

Густина сухого грунту: $\rho_d = \frac{1{,}77}{1 + 0{,}24} = 1{,}43$ т/м^3.

Коефіцієнт пористості: $e = \frac{2{,}71}{1{,}77}(1 + 0{,}24) - 1 = 0{,}9$.

Ступінь водонасичення: $S_r = \frac{2{,}71 \cdot 0{,}24}{1 \cdot 0{,}9} = 0{,}72$.

Коефіцієнт текучості: $I_c = \frac{0{,}24 - 0{,}19}{0{,}27 - 0{,}19} = 0{,}63$.

Відповідно до таб. 2 [20] грунт – суглинок лесовий, середнього ступеню водонасичення, м'якопластичний. Оскільки відносна просадковість $\xi_{se} = 0{,}02 > [\xi_{se}] = 0{,}01$ – грунт просадковий, через це його також прорізаємо пальовим фундаментом.

Шар №5 – глина сіра:

$I_p = 0{,}42 - 0{,}17 = 0{,}25 = 25\,\%.$

Густина сухого грунту: $\rho_d = \frac{2{,}05}{1 + 0{,}29} = 1{,}59$ т/м^3.

Коефіцієнт пористості: $e = \frac{2{,}74}{2{,}05}(1 + 0{,}25) - 1 = 0{,}72$.

Ступінь водонасичення: $S_r = \frac{2{,}74 \cdot 0{,}29}{1 \cdot 0{,}72} = 1$.

Коефіцієнт текучості: $I_c = \frac{0{,}29 - 0{,}17}{0{,}42 - 0{,}17} = 0{,}48$.

ВИСНОВОК: Шар №5 – глина сіра, грунт водонасичений, тугопластичний. Відносної просадки немає, а тому може використовуватися як основа.

2.4.2. Визначення типу просадковості грунту

1. Побудова графіка залежності відносної просадочності від вертикального навантаження $\xi_{sl} = f(\sigma_z)$ (рис.2.31)

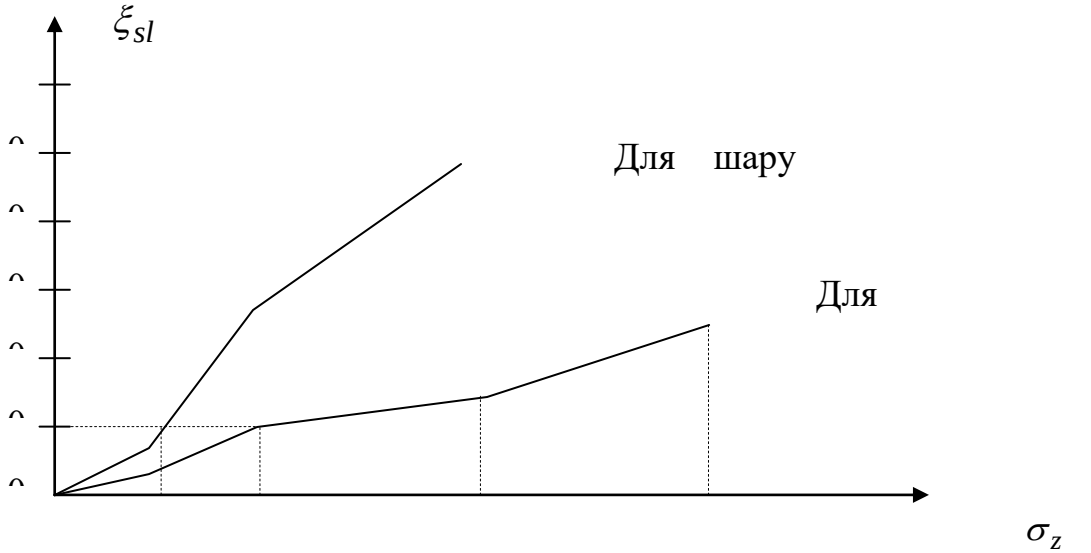


Рис.2.31. Графік залежності відносної просадковості від вертикального навантаження $\xi_{sl} = f(\sigma_z)$

2. Визначаємо початковий тиск просадочності P_{sl} за графіком при $\xi_{sl} = 0{,}01$.

Для шару №3 – $P_{sl_3} = 0{,}052$ Мпа.

Для шару №4 – $P_{sl_4} = 0{,}1$ Мпа.

3. Визначимо питому вагу грунту зі ступенем водонасичення $S_r = 0{,}9$:

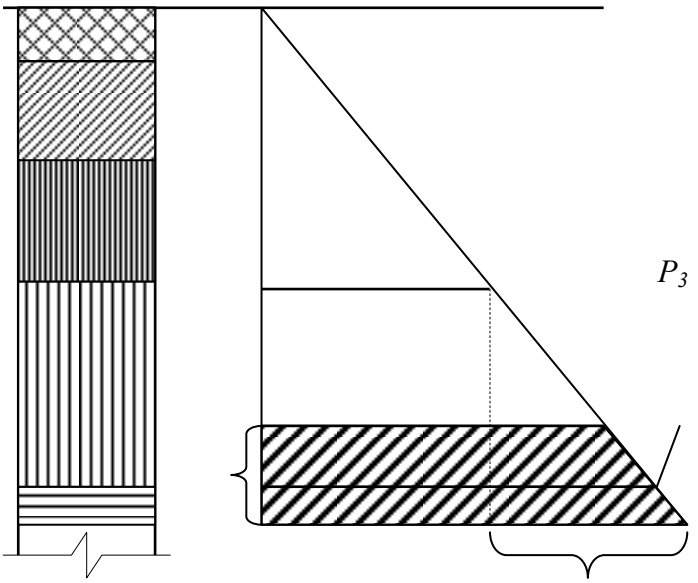
$$W_{sb_3} = \frac{e_3 \cdot S_r}{\rho_s} = \frac{1 \cdot 0{,}9}{2{,}71} = 0{,}33;$$

$$W_{sb_4} = \frac{e_4 \cdot S_r}{\rho_s} = \frac{0{,}9 \cdot 0{,}9}{2{,}71} = 0{,}3;$$

$$\rho_{sb3} = \rho_{d3}(1+W_{sb3}) = 1{,}35 \cdot 1{,}33 = 1{,}8 \text{ т/м}^3 = 18 \text{ кН/м}^3;$$

$$\rho_{sb_4} = 1{,}43 \cdot 1{,}3 = 1{,}86 \text{ т/м}^3 = 18{,}6 \text{ кН/м}^3.$$

4. Побудова графіка тиску від власної ваги вологого грунту (рис.2.32.)



$P_3 = 2{,}8 \cdot 18 = 50{,}3$

$P_{ср} = (100 + 136{,}2)/2 =$

$P_4 = 18{,}6 \cdot 4{,}7 + 50{,}3 =$

Рис.2.32. Графік тиску від власної ваги вологого грунту

$P_{sl_3} = 52$ кПа $> P = 50{,}3$ кПа – просідання немає.

85,9 – 4,7 *м*
36,2 – *x* *м*

$$x = \frac{36{,}2 \cdot 4{,}7}{85{,}9} = 1{,}98 \text{ м}.$$

Просідання: $x\xi_{\text{р.с.}} = 2 \cdot 0{,}011 = 0{,}022$ м = 2,2 см.

$\xi_{sl_{с.в.}} = 2{,}2$ см < $[\xi_{sl}] = 5$ см.

ВИСНОВОК: Грунтові умови будівельного майданчика відносяться до I типу.

2.4.3 Збирання навантаження

Вантажні площі:

$F_{гр.1\text{-}1} = b \cdot l = 12 \cdot 24 = 288$ м^2.

$F_{гр.2\text{-}2} = b \cdot \frac{l}{2} = 12 \cdot 12 = 144$ м^2.

Таблиця збору навантажень.

№	Вид навантаження	Формула підрахунку	Навантаження			
			I-I		II-II	
			норма тивні	розраху нкові	норма тивні	розраху нкові
Постійні						
1	Покриття	1,913·288 1,913·144	550,9	661,1	275,5	330,6
2	Ферма	0,572·288 0,572·176	164,7	197,7	82,4	92,4
3	Крайня колона	109,98	-	-	109,98	131,98
4	Середня колона	123,18	123,18	147,82	-	-
5	Підкранова балка	2·36,46	72,92	87,5	36,46	43,8
6	Стінова панель	1·36,46	-	-	31,1	37,3
7	Остекління	12·16,2·1,3·0,2	-	-	11,67	14,5
Усього постійні			911,7	1094,1	546,1	656,4
Тимчасові						
	Снігове	1,2·288 0,7·144	201,6	282,6	100,8	141,1
	Кранове	(1+0,475+0,9+0,575)·2·0,7·288 (1+0,475+0,9+0,575)·0,2·144	1300,9	1561,1	836,3	1003,6
Усього тимчасове			1502,5	1843,3	937,1	1444,7
Усього			2414,2	2937,4	1484	1801,1

До підрахунку кранового навантаження.

Для середньої колони:

$$N = P_{кр}^{кр}(1 + y_2 + y_3 + y_4) \cdot 2 \cdot 0{,}7 = 315{,}1 \cdot (1 + 0{,}475 + 0{,}9 + 0{,}575) \cdot 2 \cdot 0{,}7 =$$

$$= 1300{,}8 \text{ кН}.$$

Для крайньої колони:

$$N = P_{кр}^{кр}(1 + y_2 + y_3 + y_4) \cdot 0{,}9 = 315{,}1 \cdot (1 + 0{,}475 + 0{,}9 + 0{,}575) \cdot 0{,}9 =$$

$$= 836{,}3 \text{ кН}.$$

Для снігового навантаження коефіцієнт запасу становить 1,4, а для всіх інших він становить – 1,2. У перерізі 4 - 4 вибираємо значення розрахункових навантажень та поперечної сили для крайнього фундаменту. Для середнього ряду приймаємо згинальний момент “М” та поперечну силу “Q” з даних “Розрахунок рами за програмою “Solid Works”.

Навантаження на фундамент

Навантаження	Переріз			
	I-I		II-II	
	нормативне	розрахункове	нормативне	розрахункове
N	2502,5	2937,4	1484	1801,1
Q	96,5	115,9	60	72
M	637	764,4	396	475,2

За умовну відмітку $\pm 0{,}000$ прийнято рівень чистого полу $1^{го}$ поверху, що відповідає абсолютній відмітці 199,18 + 0,15 = 199,33 м.

2.4.4. Розрахунок фундаменту із забивних призматичних паль під колону крайнього ряду

2.4.4.1. Розрахунок за несучою здатністю

N = 941,4 кН;

M = 183,5 кНм;

$F_{\min}$ = 175 кН;

F_v = 1116,4 кН.

Нормативна: $F_v^н$ = 930 кН.

1. Визначаємо мінімальну висоту ростверку конструктивно: h_p = 1500 мм.

2. Приймаємо палі С8-30 l = 8 м. При жорсткому з'єднанні палі та ростверку її довжина в грунті складає:

$l^ф = 8 - 20 \cdot 0{,}012 - 0{,}12$ = 7,64 м.

Навантаження на основу передає лише нижня частина палі, що розташована в шарі №5, оскільки верхня частина палі розташована в шарі №3 та №4, які не можуть бути основою адже являються посадочними.

Визначаємо несучу здатність палі:

$F_{uv} = \gamma_c(\gamma_{cr} \cdot R \cdot A + U\sum \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i)$,

де A = 0,09 м^2 – площа перерізу палі,

γ_c = 1,

γ_{cf} = 1,

U = 1,2 – периметр палі,

R = 1830 кН/м^2 – таб. 1 [] розрахунковий опір грунту під нижнім кінцем палі,

h_5 = 5 м.

Розрахункове навантаження на палю:

$$P = \frac{F_{uv}}{\gamma_f} = \frac{352,2}{1,4} = 252,1 \text{ кН},$$

де $\gamma_f = 1,4$.

Кількість паль в кущі:

$$h = \frac{\sum F_v + 0,1\sum F_v}{P} = \frac{1116,4 + 111,64}{252,1} = 3,9 \approx 4.$$

Остаточно приймаємо 4.

2.4.4.2 Конструювання ростверку

Конструювання ростверку виконується виходячи з умов мінімальної відстані між палями тобто $a = 3d = 3 \cdot 0,3 = 0,9$ м.

Тоді розмір ростверка:

$$b = l = (2-1) \cdot 3d + d + 0,1 = (2-1) \cdot 0,9 + 0,3 + 0,1 = 1,3 \text{ м}.$$

Приймаємо ростверк 1300×1300 мм.

Вага ростверку разом з грунтом до відмітки $\pm 0,000$ складає $\sigma = 2,2 \cdot 2,5 \cdot 20 = 200$ кН. Визначимо фактичне навантаження на палю:

$$\mathrm{P}_{ф} = \frac{\sum F_v}{r} + \frac{M_x \cdot y}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \cdot x}{\sum x_i^2} \le P,$$

де $M = 183,5$ кН,

$y = x = 0,45$;

$$P_{ф} = \frac{200 + 1116,4}{5} + \frac{183,5 \cdot 0,45}{4 \cdot 0,45^2} = 232 < P = 252,1 \text{ кН}.$$

Умова виконується. Приймаємо 4 палі.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ.

Заходи та розрахунки з охорони праці визначаємо та виконуємо по відомим джерелам, методикам, та державним стандартам (ДБН А.3.2-2- 2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення (НПАОП 45.2-Д2.02-12), (ДБН А.2.2-1-2003 Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд.) та наводимо в додатку 2.

Висновки

1. Об’єктом дослідження магістерської роботи є конструктивні рішення металевих несучих конструкцій ремонтного цеху військової техніки, розташованого в місті Луцьку. Основним завданням наукової роботи було розроблення та аналіз альтернативних конструктивних рішень, а також вибір оптимальних варіантів поперечних перерізів елементів покрівельних ферм. Головною метою оптимізації було зменшення маси металоконструкцій за умови забезпечення необхідних показників міцності, стійкості та надійності конструкції.
2. Після визначення розрахункових навантажень було проведено аналітичний розрахунок ферми з використанням методу вирізання вузлів та методу Ріттера. Для перевірки достовірності отриманих результатів і оцінювання доцільності застосування вибраних профілів було створено комп’ютерну модель ферми у програмному комплексі SolidWorks. За результатами моделювання із застосуванням модуля SW Simulation встановлено, що значення внутрішніх зусиль у стрижневих елементах є близькими до величин, отриманих аналітичним шляхом.
3. Проведений аналіз показав, що мінімальний коефіцієнт запасу міцності двох стрижневих елементів становить 1,05 за нормативно необхідного значення 1,2. Для усунення виявленої невідповідності запропоновано замінити розкоси, виготовлені з кутників 70×70×6 мм, на профілі 70×70×7 мм. У результаті такого конструктивного вдосконалення коефіцієнт запасу міцності збільшився до 1,26, що забезпечує виконання встановлених вимог міцності.

4. Було виконано комп’ютерне моделювання декількох конструктивних варіантів виготовлення елементів ферми, зокрема зі зварних стрижневих елементів, листового металу та профільних труб. Результати аналізу виявили локальне підвищення напружень у деяких деталях із листового металу конструкції з похилими поясами. Для усунення надмірної концентрації напружень запропоновано вдосконалити геометрію окремих деталей шляхом збільшення розмірів закладних елементів і виконання фасок на їхніх кутах. Повторне дослідження напруженого стану після есення зазначених змін підтвердило відповідність конструктивних елементів умовам міцності.

5. З метою її облегшення ферми і прискорення підбору профілів прийнято рішення застосувати для аналізу ШІ Gemini .
6. За результатами комп’ютерного моделювання ферми запропонованої ШІ Gemini та сформованої з елементів квадратного трубчастого профілю, встановлено, що вибрані перерізи забезпечують необхідну несучу здатність і допустимі значення деформацій відповідно до вимог першої та другої груп граничних станів. Згідно з аналітичними розрахунками, маса одного відправного елемента (напівферми) традиційного конструктивного виконання становить 1194 кг. Натомість використання профільних труб дало змогу зменшити масу аналогічного виробу до 495 кг, що більш ніж удвічі менше порівняно з конструкцією, виконаною із кутників і таврових профілів. Таким чином, запропоноване конструктивне рішення забезпечує суттєве зниження матеріаломісткості та відповідає поставленій меті оптимізації металевої ферми

Література

1. Архітектура будівель і споруд: Навчальний посібник / З.І.Котеньова. – Харків: ХНАМГ, 200Д2. – 170
2. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи – Київ МІНБУД УКРАЇНИ 2006, 60 с.
3. ДБН В.2.6-163:2010 Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
4. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд,теплова ізоляція будівель Київ міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України 2006.
5. Пустюльга С.І. Інженерна графіка в SolidWorks : навч. посіб. для студ. ВНЗ техн. спец. / С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян ; МОН України, Луцький НТУ. - Луцьк : Вежа-Друк, 2018. - 174.
6. Стороженко Л.І., Пашинський В.А., Пічугін С.Ф., Трусов Г.М. Металеві конструкції: Навч. посібник. - К.: НМК ВО, 1992. - 172 с.
7. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції. / За ред. Ф.Є. Кліменка. Підручник 2-ге видання - Львів.: Світ, 2002. - 312 с.
8. Фундаменти будівель і споруд: довідник. Посібник/ Ю.Л. Винников, В.А. Муха, А.В. Яковлєв, О.В. Андрієвська, С.В. Біда. – К.: Урожай. – 2002 – 432с.

Зміст

Стор.

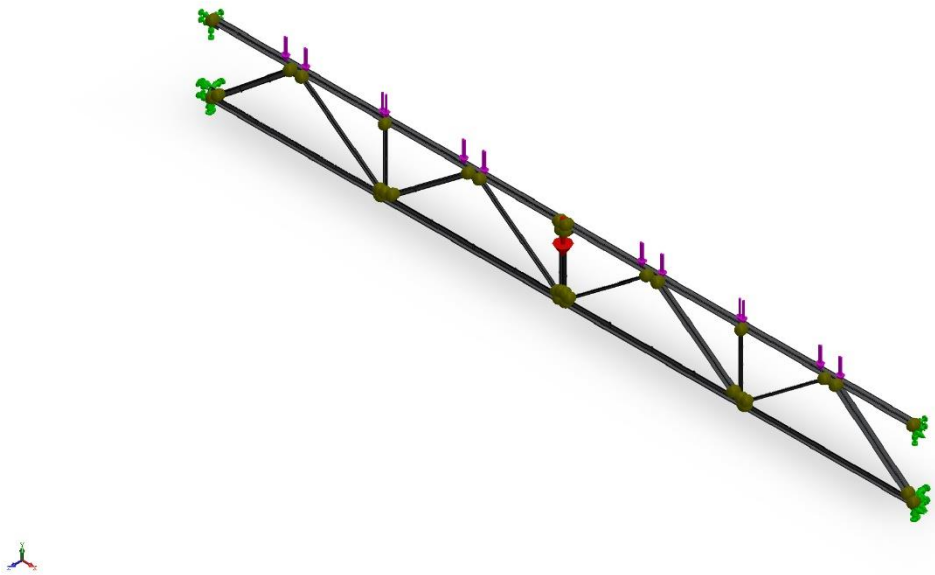
Вступ……1
1. Архітектурно-будівельний розділ……..3
1.1. Характеристика технологічного процесу……..3
1.2. Описання генерального плана ……8
1.3. Об’ємно-планувальні рішення……12
1.4. Конструктивні рішення……14
1.5. Пожежна безпека та виробнича санітарія……..18
1.6. Антикорозійний захист……..21
2. Розрахунково – дослідницький розділ……23
2.1. Збирання навантаження на раму……..23
2.2 Розрахунок кроквяної ферми……..28
2.3. Комп’ютерне моделювання та оптимізація металоконструкції ферми цеху машинобудівого підприємства……44
2.4. Основи і фундаменти……65
3. Охорона праці……...73
Висновки ……..74
Література……76
Зміст……77
Додатки……78

ДОДАТКИ

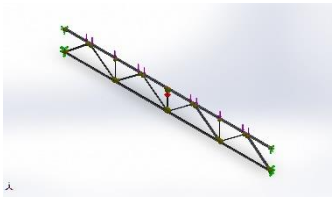
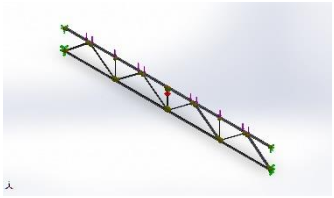
Додаток 1.

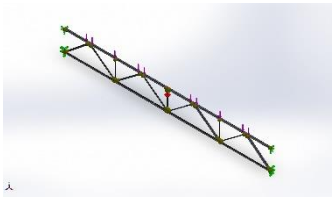
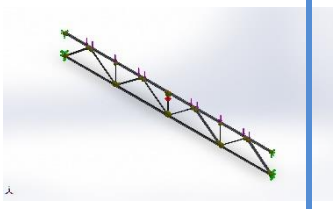
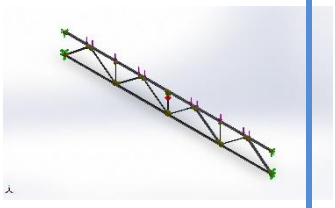
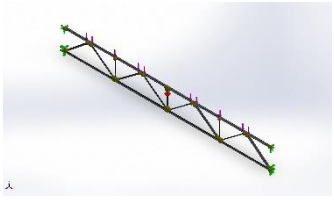
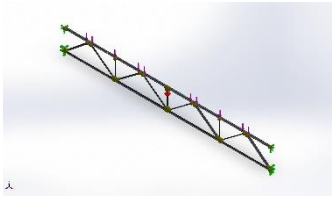
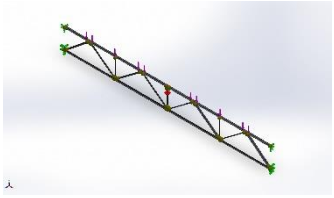
Побудування моделі та результати комп'ютерного моделювання металевих конструкцій цеху машинобудівого підприємства в середовищі САПР «Solid works 2013».

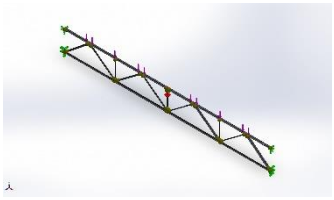
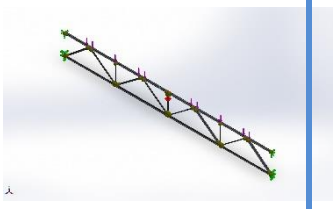
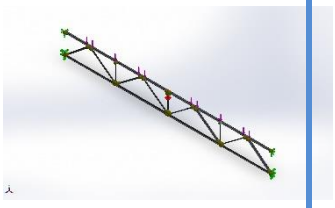
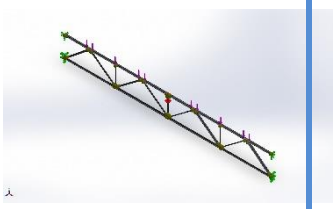
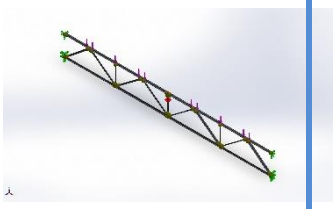
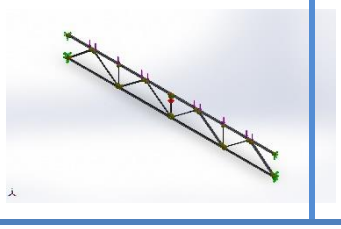
ІНФОРМАЦІЯ ПРО МОДЕЛЬ

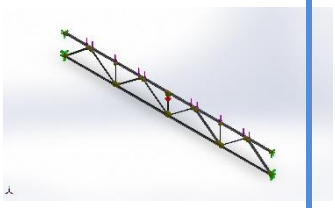
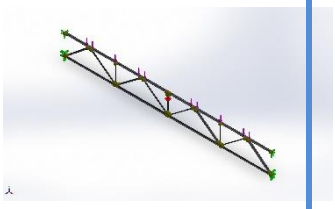
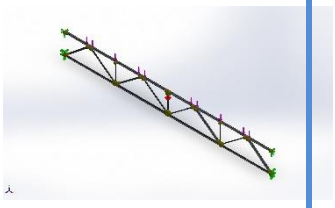
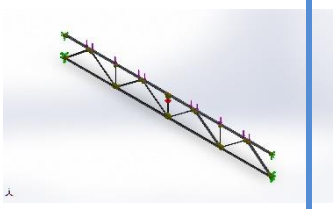
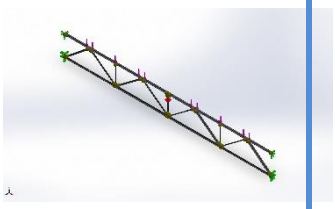
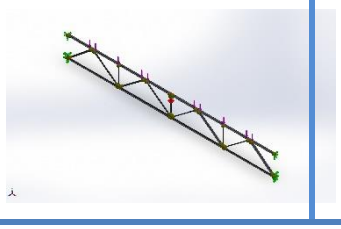


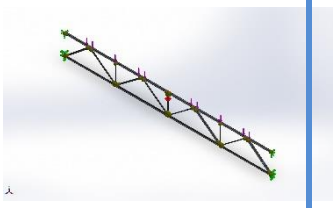
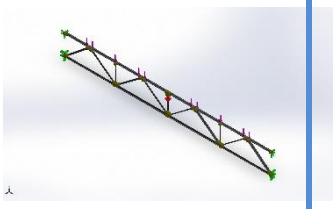
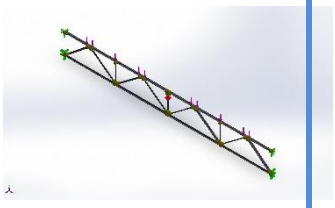
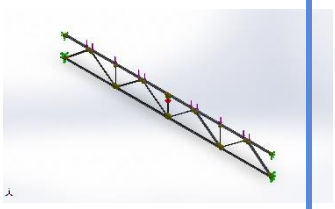
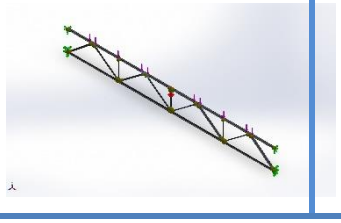
Ім’я моделі: Ферма 1

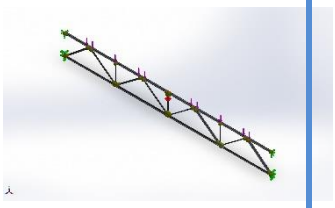
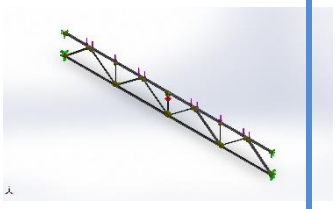
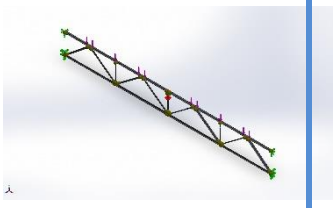
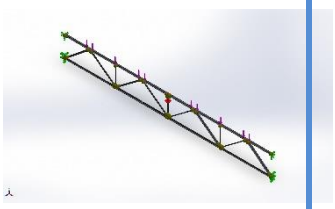
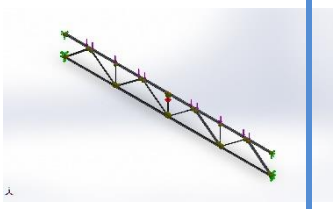
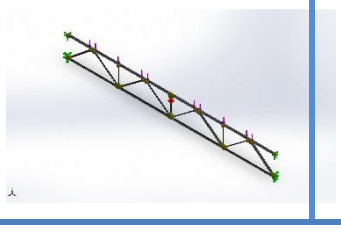
Тверді тіла			
Ім’я і посилання на документ	Розглядається як	Обємні властивості	Шлях документа/Дата змінення
Зеркальне відображення 2[19] 	Тверде тіло	Маса:5.6376 kg Об’єм:0.00072 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:55.2485 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[26] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об’єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

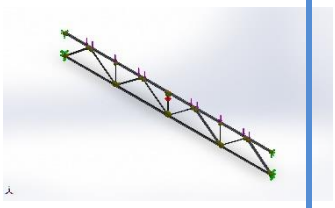
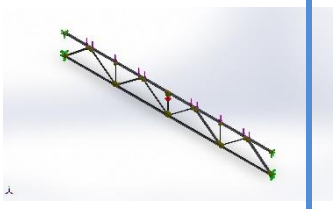
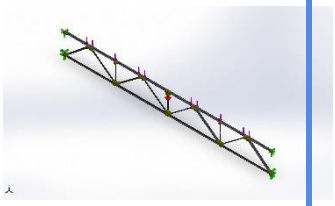
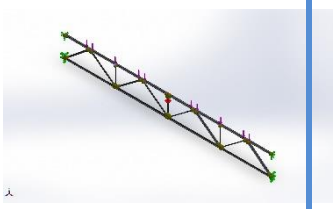
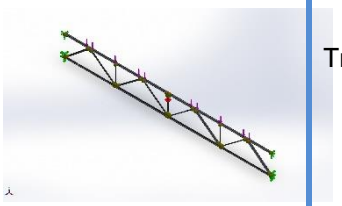
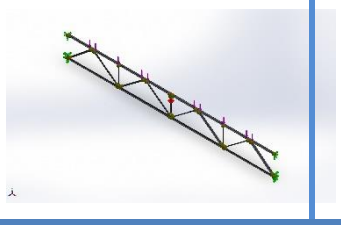
Зеркальне відображення 2[50] 	Тверде тіло	Маса:0.65772 kg Об'єм:8.4e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:6.44566 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобышка-Витянуть1[3] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об'єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобышка-Витянуть1[13] 	Тверде тіло	Маса:0.79866 kg Об'єм:0.000102 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.82687 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобышка-Витянуть1[18] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об'єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[2] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[9] 	Тверде тіло	Маса:0.65772 kg Об'єм:8.4e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:6.44566 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

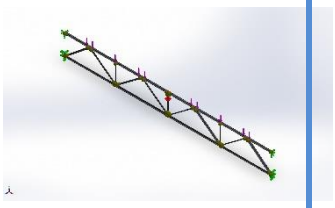
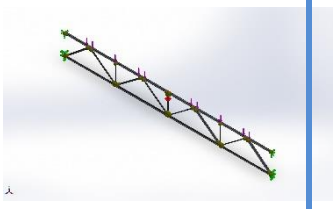
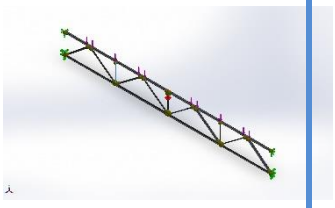
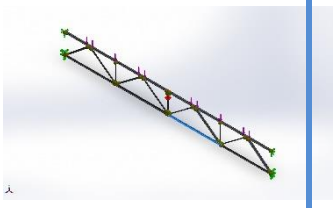
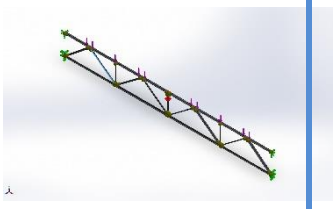
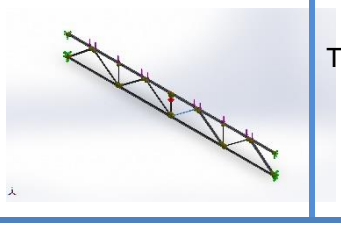
Зеркальне відображення 2[30] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[47] 	Тверде тіло	Маса:0.65772 kg Об'єм:8.4e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:6.44566 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобышка-Витянуть1[7] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об'єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобышка-Витянуть1[32] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобышка-Витянуть1[26] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[34] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

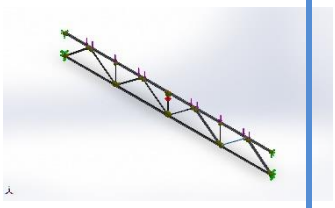
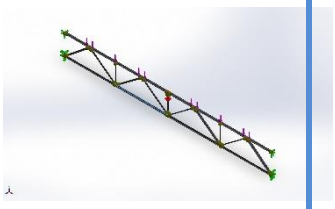
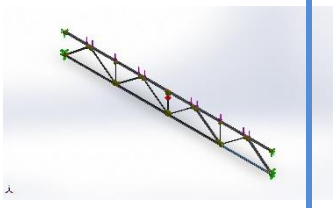
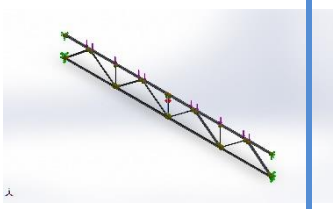
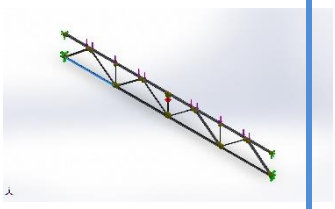
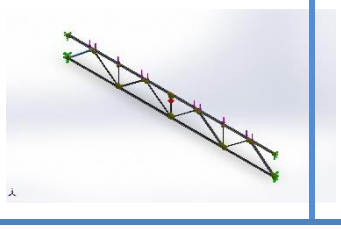
Зеркальне відображення 2[17] 	Тверде тіло	Маса:0.65772 kg Об'єм:8.4e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:6.44566 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобышка-Витянуть1[10] 	Тверде тіло	Маса:0.65772 kg Об'єм:8.4e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:6.44566 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[36] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[8] 	Тверде тіло	Маса:22.6597 kg Об'єм:0.00289396 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:222.065 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[20] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[19] 	Тверде тіло	Маса:10.8028 kg Об'єм:0.00137967 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:105.868 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

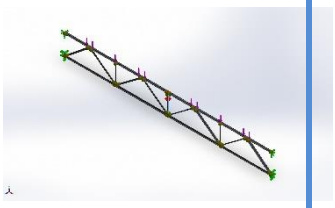
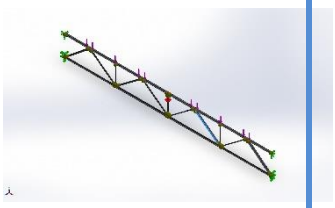
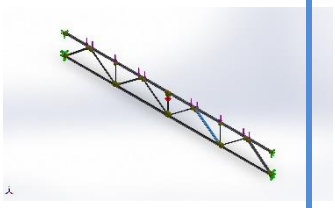
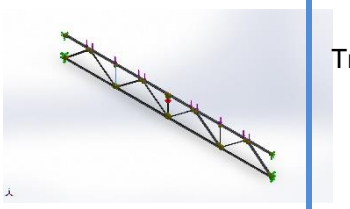
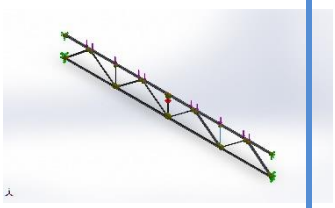
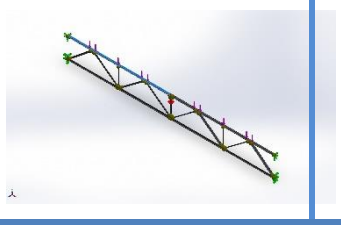
Зеркальне відображення 2[43] 	Тверде тіло	Маса:3.55169 kg Об’єм:0.0004536 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:34.8065 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[7] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об’єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[28] 	Тверде тіло	Маса:20.0135 kg Об’єм:0.002556 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:196.132 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Тело- Перемсітити/ Копіювати1[2] 	Тверде тіло	Маса:Д2.36646 kg Об’єм:0.0009408 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:72.1913 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[4]	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об’єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[29] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об’єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

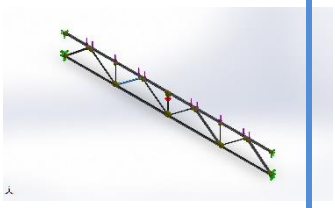
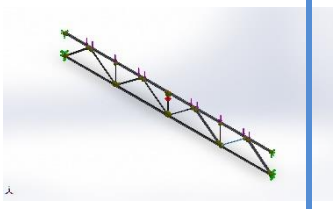
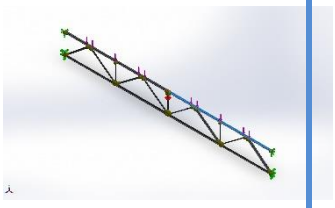
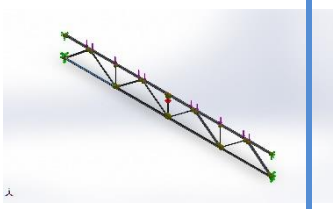
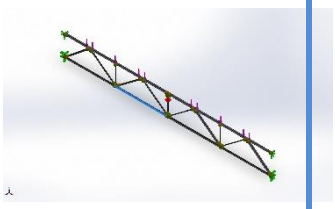
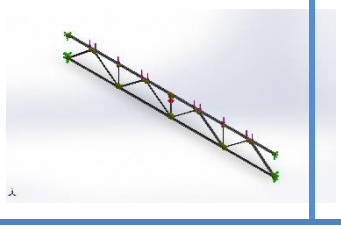
Зеркальне відображення 4[1] 	Тверде тіло	Маса:4.51008 kg Об’єм:0.000576 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:44.1988 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[14] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об’єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[25] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об’єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[23] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об’єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[33] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об’єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[22] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об’єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

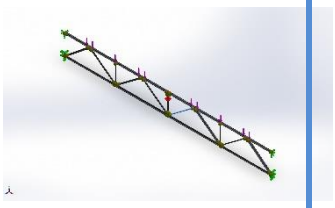
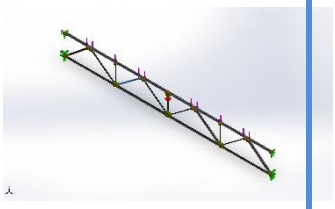
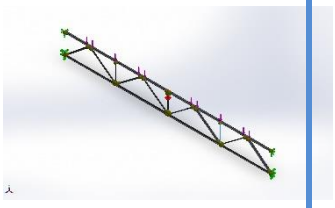
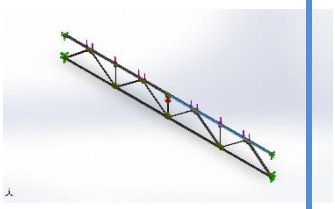
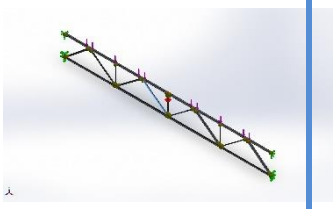
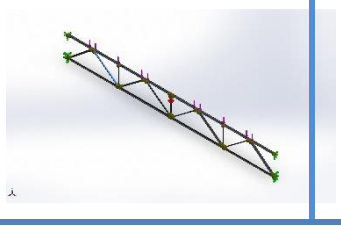
Зеркальне відображення 2[29] 	Тверде тіло	Маса:0.65772 kg Об'єм:8.4e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:6.44566 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[53] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[27] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[41] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об'єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[1] 	Тверде тіло	Маса:0.65772 kg Об'єм:8.4e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:6.44566 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[5] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

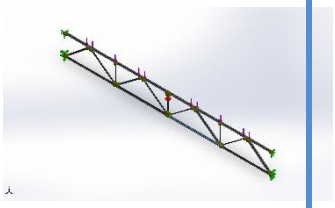
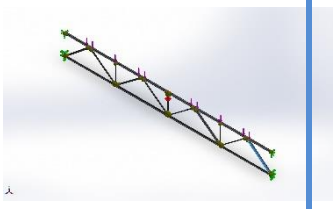
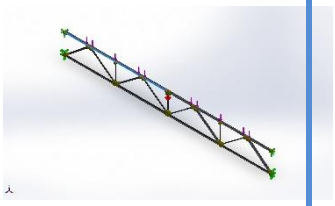
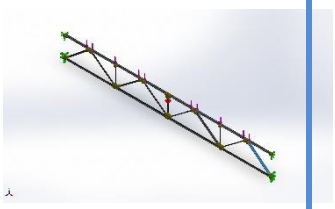
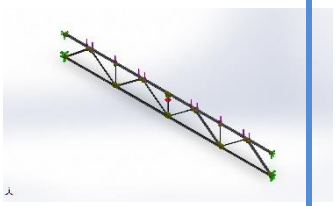
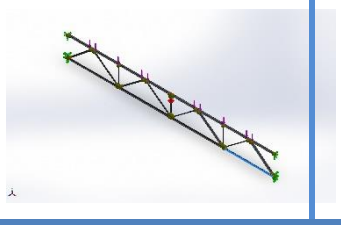
Бобишка-Витягнути1[11] 	Тверде тіло	Маса:0.79866 kg Об'єм:0.000102 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.82687 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[21] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[33] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Скруглення1 	Тверде тіло	Маса:13.6456 kg Об'єм:0.00174273 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:133.727 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[5] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об'єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[30] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

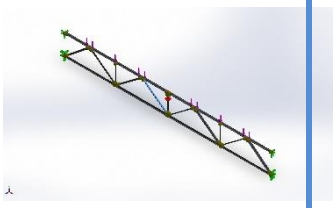
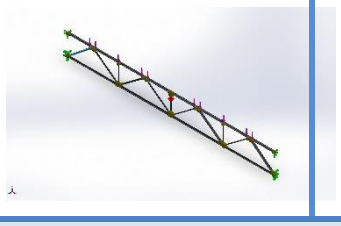
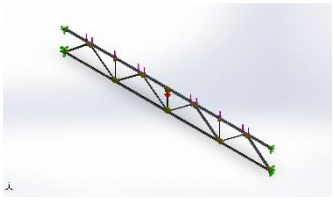
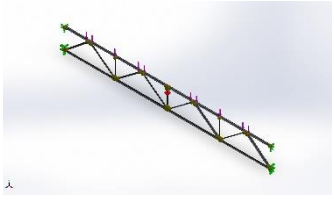
Бобишка-Витягнути1[15] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об'єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[28] 	Тверде тіло	Маса:20.0135 kg Об'єм:0.002556 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:196.132 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[13] 	Тверде тіло	Маса:0.79866 kg Об'єм:0.000102 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.82687 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[24] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Тело- Перемсітити/ Копіювати1[4] 	Тверде тіло	Маса:Д2.36646 kg Об'єм:0.0009408 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:72.1913 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[27] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об'єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

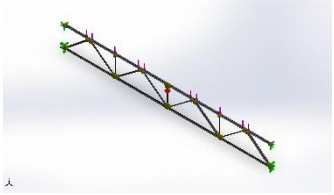
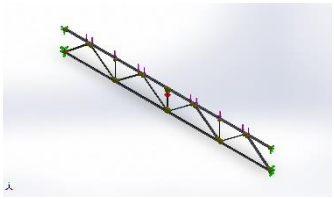
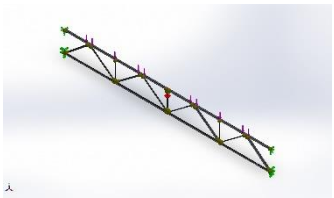
Бобишка-Витягнути1[22] 	Тверде тіло	Маса:20.0135 kg Об'єм:0.002556 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:196.132 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Скругление2 	Тверде тіло	Маса:13.6456 kg Об'єм:0.00174273 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:133.727 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[39] 	Тверде тіло	Маса:22.6597 kg Об'єм:0.00289396 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:222.065 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[51] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об'єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[46] 	Тверде тіло	Маса:10.8028 kg Об'єм:0.00137967 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:105.868 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути2 	Тверде тіло	Маса:4.51008 kg Об'єм:0.000576 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:44.1988 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

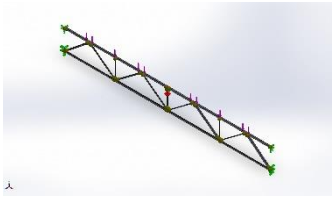
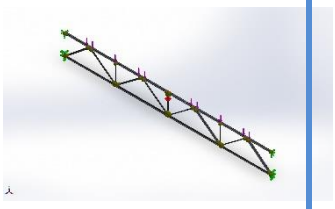
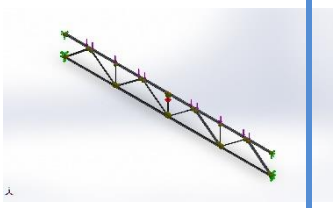
Зеркальне відображення 2[3] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об'єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[2] 	Тверде тіло	Маса:0.65772 kg Об'єм:8.4e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:6.44566 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[12] 	Тверде тіло	Маса:0.79866 kg Об'єм:0.000102 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.82687 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[17] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об'єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[21] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об'єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[16] 	Тверде тіло	Маса:10.8028 kg Об'єм:0.00137967 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:105.868 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

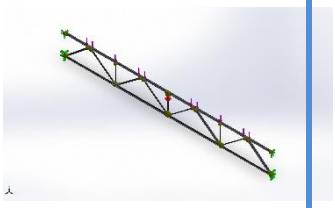
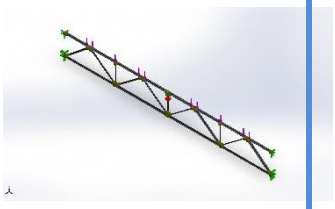
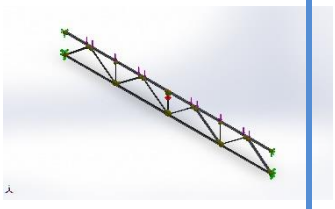
Зеркальне відображення 2[35] 	Тверде тіло	Маса:10.8028 kg Об'єм:0.00137967 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:105.868 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[40] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об'єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 3 	Тверде тіло	Маса:4.51008 kg Об'єм:0.000576 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:44.1988 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[6] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об'єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[31] 	Тверде тіло	Маса:5.6376 kg Об'єм:0.00072 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:55.2485 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[32] 	Тверде тіло	Маса:0.79866 kg Об'єм:0.000102 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.82687 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

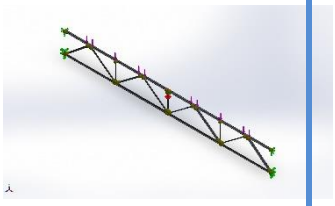
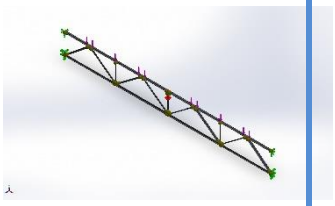
Зеркальне відображення 2[37] 	Тверде тіло	Маса:0.37584 kg Об'єм:4.8e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:3.68323 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[1] 	Тверде тіло	Маса:20.0135 kg Об'єм:0.002556 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:196.132 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[25] 	Тверде тіло	Маса:3.55169 kg Об'єм:0.0004536 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:34.8065 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[44] 	Тверде тіло	Маса:0.79866 kg Об'єм:0.000102 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.82687 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Бобишка-Витягнути1[35] 	Тверде тіло	Маса:0.65772 kg Об'єм:8.4e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:6.44566 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 4[2] 	Тверде тіло	Маса:4.51008 kg Об'єм:0.000576 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:44.1988 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

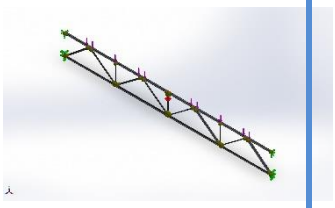
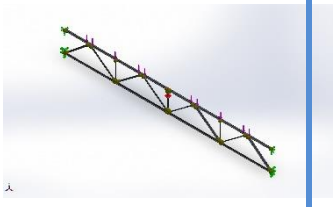
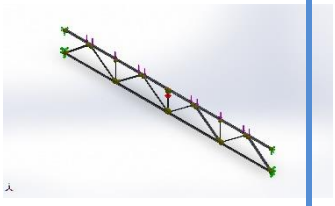
Бобишка-Витягнути1[9] 	Тверде тіло	Маса:0.65772 kg Об’єм:8.4e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:6.44566 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Зеркальне відображення 2[12] 	Тверде тіло	Маса:0.75168 kg Об’єм:9.6e-005 m^3 Щильність:7830 kg/m^3 Маса:Д2.36646 N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Тіла балок:			
Ім’я і посилання документа	Постанова	Властивості	Шлях документа/Дата змінення
Балка-1(Кутник УГ. 63 X 63 X 6(1)[3]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу-iso/angle iron/Уг. 63 x 63 x 6 Площа перерізу: 0.000734593m^2 Довжина:2000mm Об’єм:0.00146919m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:11.5037kg Маса:112.737N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-2(Зеркальне відображення 2[23]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00196325m^2 Довжина:5990mm Об’єм:0.0117599m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:92.08kg Маса:902.384N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

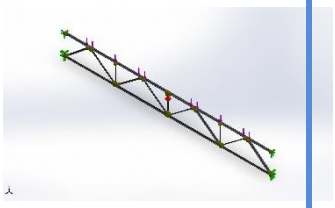
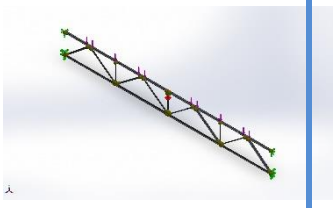
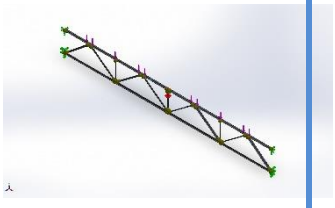
Балка-3(Зеркальне відображення 1[3]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.000734593m^2 Довжина:3275mm Об'єм:0.00240579 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:18.8374kg Маса:184.606N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-4(Зеркальне відображення 2[42]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.000734593m^2 Довжина:3256.67 mm Об'єм:0.00239233 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:18.7319kg Маса:183.573N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-5(Зеркальне відображення 2[6]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.000734593m^2 Довжина:3275mm Об'єм:0.00240579 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:18.8374kg Маса:184.606N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

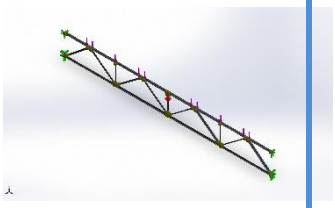
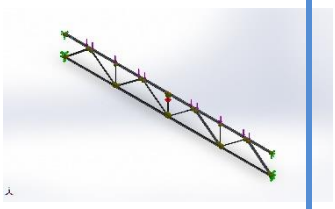
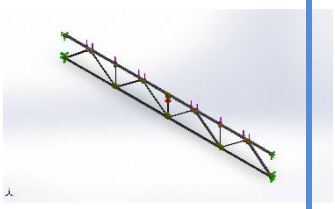
Балка-6(Кутник КУТ. 125 X 125 X 8(1)[1]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу-iso/angle iron/Кут. 125 x 125 x 8 Площа перерізу: 0.00196325m^2 Довжина:5990mm Об'єм:0.0117599 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:92.08kg Маса:902.384N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-7(Зеркальне відображення 2[24]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00152383m^2 Довжина:5650mm Об'єм:0.00860966 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:6Д2.4137kg Маса:660.654N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-8(Кутник УГ. 50 X 50 X 5(1)) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу-iso/angle iron/Уг. 50 x 50 x 5 Площа перерізу: 0.000481653m^2 Довжина:1800mm Об'єм:0.00086697 5m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:6.78841kg Маса:66.5264N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

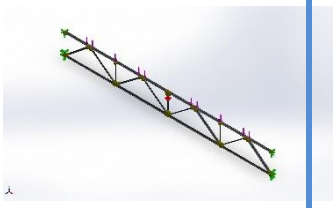
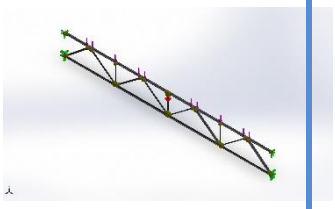
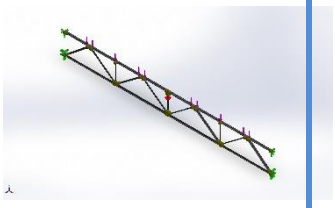
Балка-9(Зеркальне відображення 1[4]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00152383m^2 Довжина:5650mm Об'єм:0.00860966 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:6Д2.4137kg Маса:660.654N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-10(Кутник КУТ. 125 X 125 X 8(1)[2]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу-iso/angle iron/Кут. 125 x 125 x 8 Площа перерізу: 0.00196325m^2 Довжина:3105mm Об'єм:0.00609591 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:4Д2.7309kg Маса:46Д2.763N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-11(Зеркальне відображення 2[14]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.000481653m^2 Довжина:1800mm Об'єм:0.000866975m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:6.78841kg Маса:66.5264N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

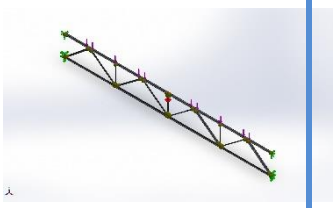
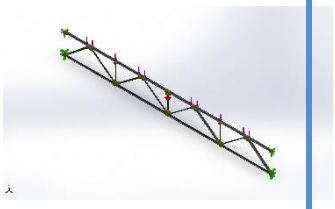
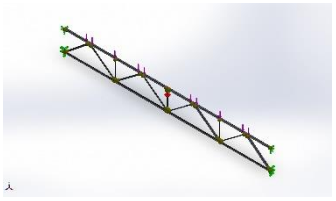
Балка-12(Зеркальне відображення 2[52])	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00152383m^2 Довжина:3190mm Об’єм:0.00486103 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:38.0619kg Маса:373.006N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-13(Зеркальне відображення 2[4]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00152383m^2 Довжина:3190mm Об’єм:0.00486103 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:38.0619kg Маса:373.006N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-14(Зеркальне відображення 1[5]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.000734593m^2 Довжина:2000mm Об’єм:0.00146919 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:11.5037kg Маса:112.737N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

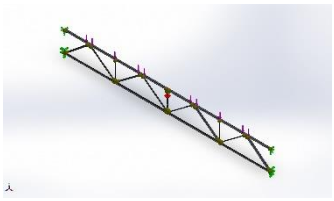
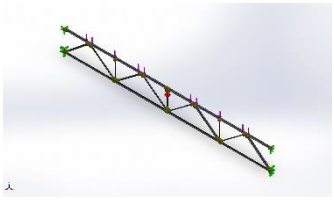
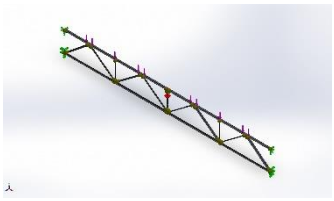
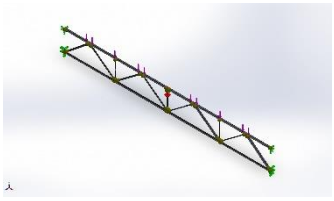
Балка-15(Зеркальне відображення 2[15]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.000734593m^2 Довжина:2000mm Об'єм:0.00146919 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:11.5037kg Маса:112.737N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-16(Кутник КУТ. 140 X 140 X 9(1)) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу-iso/angle iron/Кут. 140 x 140 x 9 Площа перерізу: 0.00246625m^2 Довжина:11690mm Об'єм:0.0288305 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:225.743kg Маса:2212.28N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-17(Зеркальне відображення 1[6]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00152383m^2 Довжина:3190mm Об'єм:0.00486103 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:38.0619kg Маса:373.006N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

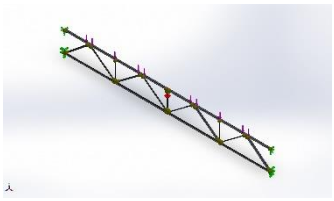
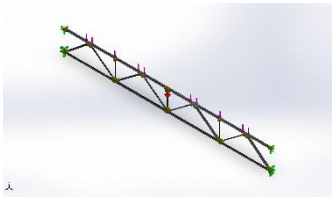
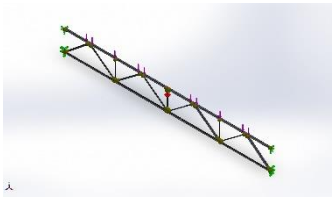
Балка-18(Зеркальне відображення 2[38]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.000734593m^2 Довжина:3275mm Об'єм:0.00240579 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:18.8374kg Маса:184.606N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-19(Зеркальне відображення 2[45]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00246625m^2 Довжина:11690m m Об'єм:0.0288305 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:225.743kg Маса:2212.28N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-20(Кутник КУТ. 110 X 110 X 7(1)[1]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу-iso/angle iron/Кут. 110 x 110 x 7 Площа перерізу: 0.00152383m^2 Довжина:5650mm Об'єм:0.00860966 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:6Д2.4137kg Маса:660.654N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

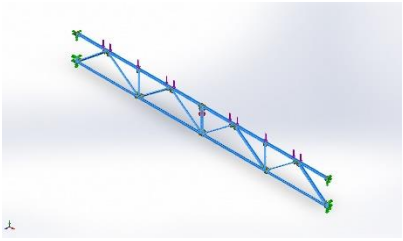
Балка-21(Зеркальне відображення 1[7]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00196325m^2 Довжина:5990mm Об’єм:0.0117599 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:92.08kg Маса:902.384N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-22(Зеркальне відображення 2[20]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.000481653m^2 Довжина:1800mm Об’єм:0.000866975m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:6.78841kg Маса:66.5264N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-23(Зеркальне відображення 2[10]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.000734593m^2 Довжина:3256.67 mm Об’єм:0.00239233 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:18.7319kg Маса:183.573N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

Балка-24(Кутник КУТ. 110 X 110 X 7(1)[2]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу-iso/angle iron/Кут. 110 x 110 x 7 Площа перерізу: 0.00152383m^2 Довжина:3190mm Об'єм:0.00486103 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:38.0619kg Маса:373.006N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-25(Зеркальне відображення 2[31]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.000734593m^2 Довжина:2000mm Об'єм:0.00146919 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:11.5037kg Маса:112.737N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-26(Зеркальне відображення 2[48]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00246625m^2 Довжина:11690mm Об'єм:0.0288305 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:225.743kg Маса:2212.28N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

Балка-27(Зеркальне відображення 1[8]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.000734593m^2 Довжина:3256.67 mm Об'єм:0.00239233 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:18.7319kg Маса:183.573N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-28(Кутник УГ. 63 X 63 X 6(1)[1]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу-iso/angle iron/Уг. 63 x 63 x 6 Площа перерізу: 0.000734593m^2 Довжина:3275mm Об'єм:0.00240579 m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:18.8374kg Маса:184.606N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-29(Зеркальне відображення 2[11]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00196325m^2 Довжина:5990mm Об'єм:0.0117599m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:92.08kg Маса:902.384N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

Балка-30(Зеркальне відображення 2[18]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00196325m^2 Довжина:3105mm Об'єм:0.00609591m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:4Д2.7309kg Маса:46Д2.763N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-31(Зеркальне відображення 1[1]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00246625m^2 Довжина:11690mm Об'єм:0.0288305m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:225.743kg Маса:2212.28N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-32(Зеркальне відображення 2[49]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00196325m^2 Довжина:3105mm Об'єм:0.00609591m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:4Д2.7309kg Маса:46Д2.763N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-33(Зеркальне відображення 1[9]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.000481653m^2 Довжина:1800mm Об'єм:0.000866975m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:6.78841kg Маса:66.5264N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

Балка-34(Зеркальне відображення 2[8]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00152383m^2 Довжина:5650mm Об'єм:0.00860966m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:6Д2.4137kg Маса:660.654N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-35(Кутник УГ. 63 X 63 X 6(1)[2]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу-iso/angle iron/Уг. 63 x 63 x 6 Площа перерізу: 0.000734593m^2 Довжина:3256.67mm Об'єм:0.00239233m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:18.7319kg Маса:183.573N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026
Балка-36(Зеркальне відображення 1[2]) 	Балка - Постійний переріз	Стандарт перерізу- Площа перерізу: 0.00196325m^2 Довжина:3105mm Об'єм:0.00609591m^3 Масова Щильність:7830kg/m^3 Маса:4Д2.7309kg Маса:46Д2.763N	F:\Робота\МКБ\Ферма 1.SLDPRT Nov 08 04:00:38 2026

Посилання на модель	Властивості		Компоненти
	Ім’я:	**Сталь 3** ДСТУ 2651:2005	Тверде тіло 1(Зеркальне відображення 2[19])(Ферма 1), Тверде тіло 2(Зеркальне відображення 2[26])(Ферма 1), Тверде тіло 3(Кутник УГ. 63 X 63 X 6(1)[3])(Ферма 1), Тверде тіло 4(Зеркальне відображення 2[50])(Ферма 1), Тверде тіло 5(Бобишка-Витягнути1[3])(Ферма 1), Тверде тіло 6(Зеркальне відображення 2[23])(Ферма 1), Тверде тіло 7(Бобишка-Витягнути1[13])(Ферма 1), Тверде тіло 8(Бобишка-Витягнути1[18]) (Ферма 1), Тверде тіло 9 (Зеркальне відображення 2[2])(Ферма 1), Тверде тіло 10 (Зеркальне відображення 2[9])(Ферма 1), Тверде тіло 11(Зеркальне відображення 1[3])(Ферма 1), Тверде тіло 12(Зеркальне відображення 2[42])(Ферма 1), Тверде тіло 13(Зеркальне відображення 2[30])(Ферма 1), Тверде тіло 14(Зеркальне відображення 2[6])(Ферма 1), Тверде тіло 15(Зеркальне відображення 2[47])(Ферма 1), Тверде тіло 16(Кутник КУТ. 125 X 125 X 8(1)[1])(Ферма 1), Тверде тіло 17(Бобишка-Витягнути1[7])(Ферма 1), Тверде тіло 18(Бобишка-Витягнути1[32])(Ферма 1), Тверде тіло 19(Зеркальне відображення 2[24])(Ферма 1), Тверде тіло 20(Бобишка-Витягнути1[26])(Ферма 1), Тверде тіло 21(Зеркальне відображення
	Тип моделі:	**Лінійний пружний Ізотропний**	
	Критерій міцності за замовчуванням:	**Невідомо**	
	Межа плинності:	**2.25e+008 N/m^2**	
	Межа міцнсті при разтігуваннні:	**4.4e+008 N/m^2**	
	Модуль прцжності:	**2.05e+011 N/m^2**	
	Коеффіцієнт Пуассона:	**0.29**	
	Массова щильність:	**7830 kg/m^3**	
	Модуль зсуву:	**Д2.9e+010 N/m^2**	
	Коеффіцієнт теплового разширення:	**1.2e-005 /Kelvin**	

		2[34])(Ферма 1), Тверде тіло 22(Кутник УГ. 50 X 50 X 5(1))(Ферма 1), Тверде тіло 23(Зеркальне відображення 1[4])(Ферма 1), Тверде тіло 24(Зеркальне відображення 2[17])(Ферма 1), Тверде тіло 25(Кутник КУТ. 125 X 125 X 8(1)[2])(Ферма 1), Тверде тіло 26(Бобишка-Витягнути1[10])(Ферма 1), Тверде тіло 27(Зеркальне відображення 2[14])(Ферма 1), Тверде тіло 28(Зеркальне відображення **2**[36])(Ферма 1), Тверде тіло 29(Бобишка-Витягнути1[8])(Ферма 1), Тверде тіло 30(Бобишка-Витягнути1[20])(Ферма 1), Тверде тіло 31(Бобишка-Витягнути1[19])(Ферма 1), Тверде тіло 32(Зеркальне відображення 2[52])(Ферма 1), Тверде тіло 33(Зеркальне відображення 2[43])(Ферма 1), Тверде тіло 34(Зеркальне відображення 2[7])(Ферма 1), Тверде тіло 35(Зеркальне відображення **2**[28])(Ферма 1), Тверде тіло 36(Тело-Перемістити/Копіювати1[2])(Ферма 1), Тверде тіло 37(Бобишка-Витягнути1[4])(Ферма 1), Тверде тіло 38(Бобишка-Витягнути1[29])(Ферма 1), Тверде тіло 39(Зеркальне відображення **4**[1])(Ферма 1), Тверде тіло 40(Бобишка-Витягнути1[14])(Ферма 1), Тверде тіло 41(Зеркальне відображення 2[4])(Ферма 1), Тверде тіло 42(Зеркальне відображення 1[5])(Ферма 1), Тверде тіло 43(Зеркальне відображення 2[25])(Ферма 1), Тверде тіло 44(Бобишка-

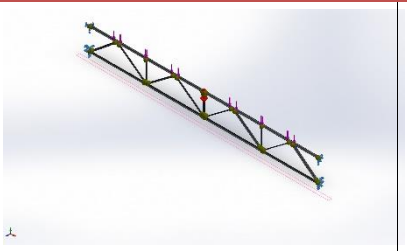
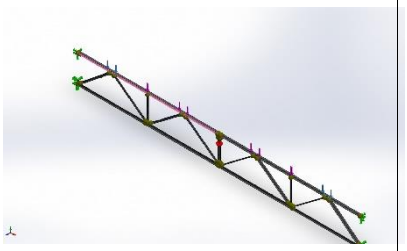
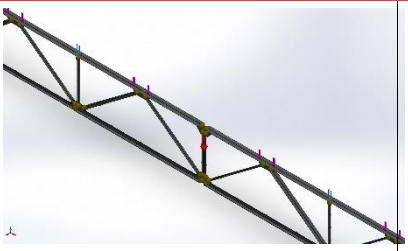
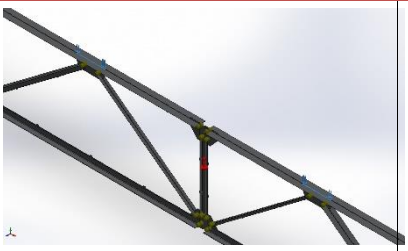
		Витягнути1[23])(Ферма 1), Тверде тіло 45(Зеркальне відображення 2[15])(Ферма 1), Тверде тіло 46(Бобишка-Витягнути1[33])(Ферма 1), Тверде тіло 47(Зеркальне відображення 2[22])(Ферма 1), Тверде тіло 48(Зеркальне відображення 2[29])(Ферма 1), Тверде тіло 49(Зеркальне відображення 2[53])(Ферма 1), Тверде тіло 50(Бобишка-Витягнути1[27])(Ферма 1), Тверде тіло 51(Кутник КУТ. 140 X 140 X 9(1))(Ферма 1), Тверде тіло 52(Зеркальне відображення 1[6])(Ферма 1), Тверде тіло 53(Зеркальне відображення 2[41])(Ферма 1), Тверде тіло 54(Зеркальне відображення 2[38])(Ферма 1), Тверде тіло 55(Бобишка-Витягнути1[1])(Ферма 1), Тверде тіло 56(Зеркальне відображення 2[5])(Ферма 1), Тверде тіло 57(Бобишка-Витягнути1[11])(Ферма 1), Тверде тіло 58(Бобишка-Витягнути1[21])(Ферма 1), Тверде тіло 59(Зеркальне відображення 2[45])(Ферма 1), Тверде тіло 60(Зеркальне відображення 2[33])(Ферма 1), Тверде тіло 61(Скругление1)(Ферма 1), Тверде тіло 62(Бобишка-Витягнути1[5])(Ферма 1), Тверде тіло 63(Бобишка-Витягнути1[30])(Ферма 1), Тверде тіло 64(Кутник КУТ. 110 X 110 X 7(1)[1])(Ферма 1), Тверде тіло 65(Бобишка-Витягнути1[15])(Ферма 1), Тверде тіло 66(Бобишка-Витягнути1[28])(Ферма 1), Тверде тіло 67(Зеркальне відображення 1[7])(Ферма 1),

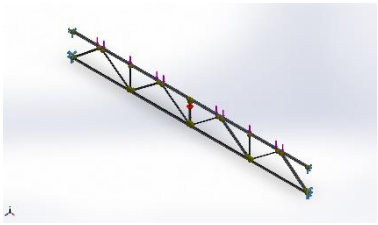
		Тверде тіло 68(Зеркальне відображення 2[20])(Ферма 1), Тверде тіло 69(Зеркальне відображення 2[13])(Ферма 1), Тверде тіло 70(Бобишка-Витягнути1[24])(Ферма 1), Тверде тіло 71(Тело-Перемістити/Копіювати1[4])(Ферма 1), Тверде тіло 72(Зеркальне відображення 2[27])(Ферма 1), Тверде тіло 73(Бобишка-Витягнути1[22])(Ферма 1), Тверде тіло 74(Скругление2)(Ферма 1), Тверде тіло 75(Зеркальне відображення 2[39])(Ферма 1), Тверде тіло 76(Зеркальне відображення 2[51])(Ферма 1), Тверде тіло 77(Зеркальне відображення 2[10])(Ферма 1), Тверде тіло 78(Кутник КУТ. 110 Х 110 Х 7(1)[2])(Ферма 1), Тверде тіло 79(Зеркальне відображення 2[31])(Ферма 1), Тверде тіло 80(Зеркальне відображення 2[46])(Ферма 1), Тверде тіло 81(Зеркальне відображення 2[48])(Ферма 1), Тверде тіло 82(Бобишка-Витягнути2)(Ферма 1), Тверде тіло 83(Зеркальне відображення 2[3])(Ферма 1), Тверде тіло 84(Зеркальне відображення 1[8])(Ферма 1), Тверде тіло 85(Бобишка-Витягнути1[2])(Ферма 1), Тверде тіло 86(Бобишка-Витягнути1[12])(Ферма 1), Тверде тіло 87(Бобишка-Витягнути1[17])(Ферма 1), Тверде тіло 88(Зеркальне відображення 2[21])(Ферма 1), Тверде тіло 89(Кутник УГ. 63 Х 63 Х 6(1)[1])(Ферма 1), Тверде тіло 90(Бобишка-

		Витягнути1[16])(Ферма 1), Тверде тіло 91(Зеркальне відображення 2[11])(Ферма 1), Тверде тіло 92(Зеркальне відображення 2[18])(Ферма 1), Тверде тіло 93(Зеркальне відображення 1[1])(Ферма 1), Тверде тіло 94(Зеркальне відображення 2[35])(Ферма 1), Тверде тіло 95(Зеркальне відображення 2[40])(Ферма 1), Тверде тіло 96(Зеркальне відображення **2**[49])(Ферма 1), Тверде тіло 97(Зеркальне відображення 3)(Ферма 1), Тверде тіло 98(Бобишка-Витягнути1[6])(Ферма 1), Тверде тіло 99(Бобишка-Витягнути1[31])(Ферма 1), Тверде тіло 100(Зеркальне відображення 1[9])(Ферма 1), Тверде тіло 101(Зеркальне відображення 2[8])(Ферма 1), Тверде тіло 102(Зеркальне відображення 2[32])(Ферма 1), Тверде тіло 103(Зеркальне відображення 2[37])(Ферма 1), Тверде тіло 104(Кутник УГ. 63 X 63 X 6(1)[2])(Ферма 1), Тверде тіло 105(Зеркальне відображення 2[1])(Ферма 1), Тверде тіло 106(Бобишка-Витягнути1[25])(Ферма 1), Тверде тіло 107(Зеркальне відображення 2[44])(Ферма 1), Тверде тіло 108(Бобишка-Витягнути1[35])(Ферма 1), Тверде тіло 109(Зеркальне відображення 1[2])(Ферма 1),

		Тверде тіло 110(Зеркальне відображення 4[2])(Ферма 1), Тверде тіло 111(Бобишка-Витягнути1[9])(Ферма 1), Тверде тіло 112(Зеркальне відображення 2[12])(Ферма 1)
Дані кривої:N/A		

НАВАНТАЖЕНННЯ И КРІПЛЕНННЯ

Ім’я навантаження	Завантажити зображення	Завантажити дані
Сила тяжіння -1		**Довідниковий** Зверху **Значення:** 0 0 -9.81 **Одиниці** S **Вимірювання:** I
Сила-1		**Об’єкти:** 2 грани **Довідниковий:** Грань< > **Тип:** Докласти силу **Значення:** 32500 N **Моменти:** N.m
Сила-2		**Об’єкти:** 2 грани **Тип:** Докласти нормальну силу **Значення:** 36760 N
Сила-3		**Об’єкти:** 2 грани **Тип:** Докласти нормальну силу **Значення** 34200 N

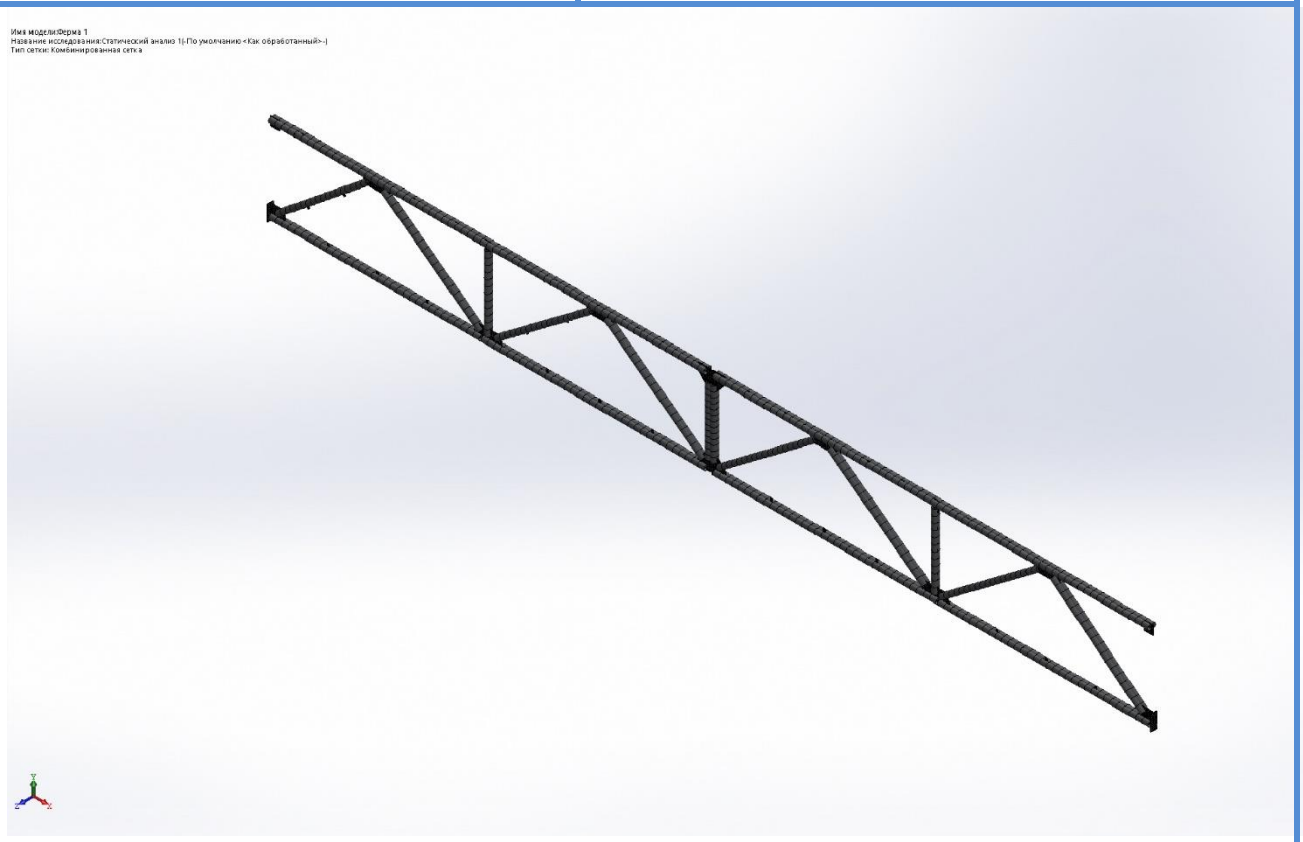
Ім’я кріплення	Зображення кріплення	Дані кріплення
Зафіксований-1		**Об’єкти:** **4 грані** **Тип:** **Зафіксована геометрія**

Результуючи сили

Компоненти	X	Y	Z	Результуюча
Сила реакції(N)	0.218262	230344	0.0078125	230344
Реактивний момент(N.m)	44.0372	529.736	3682.99	3721.15

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СІТКУ

Всього вузлів	21039
Всього елементів	10055
Час для завершення сітки (hh;mm;ss):	00:00:23



РЕЗУЛЬТУЮЧІ СИЛИ

Сили реакції

Вибраний набір	Одиниці	Сума X	Сума Y	Сума Z	Результуюча
всієї моделі	N	0.218262	230344	0.0078125	230344

Моменти реакції

Вибраний набір	Одиниці	Сума X	Сума Y	Сума Z	Результуюча
всієї моделі	N.m	44.0372	529.736	3682.99	3721.15

БАЛКИ

Сили балок

Ім’я балки	З'єднання	По осі(N)	Зсув1(N)	Зсув 2(N)	Момент1(N.m)	Момент2(N.m)
Балка-1(Кутник УГ. 63 X 63 X 6(1)[3])	1	9944.51	2492.33	564.444	99.2843	111.502
	2	18653.6	159.942	599.099	18Д2.974	128.802
Балка-2(Зеркальне відображення 2[23])	1	8871.17	448.015	2915.35	229.562	243.665
	2	25624.1	8434.35	-4759.46	-641.271	399.355
Балка-3(Зеркальне відображення 1[3])	1	-33068.4	-1064.81	5171.34	-452.047	-59.0239
	2	24619.5	-2559.67	4522.71	253.694	141.573
Балка-4(Зеркальне відображення 2[42])	1	-1749.89	-69.51	-3.11284	-13.0913	-1Д2.0671
	2	765.622	80.2175	229.82	13.4183	5.10453
Балка-5(Зеркальне відображення 2[6])	1	-33778.8	-261.409	-5049.16	38Д2.564	-89.1122
	2	31593.5	-1875.37	-4436.48	-339.091	120.504
Балка-6(Кутник КУТ. 125 X 125 X 8(1)[1])	1	-21310.4	8291.84	4924.04	-374.605	731.086
	2	11850.4	-16Д2.722	1001.83	399.308	-375.037
Балка-7(Зеркальне відображення 2[24])	1	12084.8	-1974.3	3409.91	-362.049	-199.056
	2	-18519.6	-6633.51	4533.16	462.201	592.914
Балка-8(Кутник УГ. 50 X 50 X 5(1))	1	399.601	-14.2124	-4.33902	-3.5096	-2.17013
	2	-473.767	-6Д2.2157	86.6221	4.61144	3.49621

Балка-9(Зеркальне відображення 1[4])	1	21355.2	-6345.75	-1875.12	442.457	-400.852
	2	-14115	-3352.42	-2915.51	-292.392	430.784
Балка-10(Кутник КУТ. 125 X 125 X 8(1)[2])	1	24248.2	-13290.5	1068Д2.7	-1251	-744.951
	2	-48558.5	-13201.7	8430.82	1029.59	784.346
Балка-11(Зеркальне відображення 2[14])	1	-120.91	-35.452	46.4916	-0.869284	-0.759755
	2	-5.45629	29.6745	-61.4472	-0.537016	0.0919093
Балка-12(Зеркальне відображення 2[52])	1	10090.7	6293.29	4696.17	-274.01	298.614
	2	-31973.1	498.903	839.544	875.166	-805.67
Балка-13(Зеркальне відображення 2[4])	1	12759.6	6441.3	-5231.11	429.126	400.429
	2	-31541.5	399.324	-875.224	-97Д2.327	-780.036
Балка-14(Зеркальне відображення 1[5])	1	8220.09	2426.09	151.005	-79.665	88.6509
	2	-18394.7	154.725	560.822	184.532	-124.067
Балка-15(Зеркальне відображення 2[15])	1	9408.27	-2096.74	-678.128	90.1727	-80.8139
	2	-19051.9	-138.112	-321.758	-99.51	86.0294
Балка-16(Кутник КУТ. 140 X 140 X 9(1))	1	27240.8	-6074.64	3990.09	-772.256	-74Д2.832
	2	50764.8	-7751.27	-15485.1	-1808.45	561.374
Балка-17(Зеркальне відображення 1[6])	1	14166.1	-589Д2.7	3435.83	-245.801	-316.516
	2	-29422.9	-36Д2.25	891.414	801.36	605.034
Балка-18(Зеркальне відображення 2[38])	1	-26675.8	-86Д2.909	5281.31	-345.51	-108.085
	2	29770.4	-1808.02	3828.59	262.018	112.252

Балка-19(Зеркальне відображення 2[45])	1	-87943	9478.19	-9398.97	2656.47	2745.12
	2	-30804.8	-4664.26	6230.99	945.159	394.265
Балка-20(Кутник КУТ. 110 X 110 X 7(1)[1])	1	21526.9	-6284.65	1816.98	-452.886	-402.353
	2	-1456Д2.7	-3503.98	276Д2.6	300.261	462.986
Балка-21(Зеркальне відображення 1[7])	1	-22214.3	8292.7	-4866.04	393.979	756.266
	2	7146.74	-376.294	-1238.29	-298.179	-225.512
Балка-22(Зеркальне відображення 2[20])	1	Д2.03069	8.18496	26.0021	-0.302021	-0.208988
	2	69.0013	-26.0012	-75.9703	-0.288326	-1.36489
Балка-23(Зеркальне відображення 2[10])	1	-2176.02	-6Д2.9048	6.23688	4.90146	-19.5311
	2	879.855	81.082	-244.032	-9.91024	6.30428
Балка-24(Кутник КУТ. 110 X 110 X 7(1)[2])	1	12674.4	-5895.65	-3593.19	210.149	-268.467
	2	-34253.2	-489.572	-920.226	-1056.94	849.171
Балка-25(Зеркальне відображення 2[31])	1	8922.38	-2304.54	166.252	-99.0272	-73.1264
	2	-1836Д2.1	-128.75	265.859	88.5958	79.2188
Балка-26(Зеркальне відображення 2[48])	1	-40509.4	483Д2.05	7770.95	-117Д2.02	992.355
	2	-31558.9	-4765.92	-6379.23	-936.295	405.187
Балка-27(Зеркальне відображення 1[8])	1	-2050	6Д2.1784	-6.73258	-6.0696	19.0551
	2	976.889	-188.553	248.818	15.5167	-0.806754
Балка-28(Кутник УГ. 63 X 63 X 6(1)[1])	1	-28382.2	-68Д2.507	-5591.24	372.958	-23.4929
	2	25928.4	-2511.97	-4578.96	-280.465	144.881

Балка-29(Зеркальне відображення 2[11])	1	-12415.1	1026.98	3522.35	-369.064	375.326	
	2	26684.4	7962.98	4690.25	66Д2.386	-431.044	
Балка-30(Зеркальне відображення 2[18])	1	28631.3	15055.4	13562.9	-916.221	949.306	
	2	-49041	1572Д2.5	11156.1	1141.62	-1815	
Балка-31(Зеркальне відображення 1[1])	1	28013.5	-4988.41	-4436.33	803.854	-718.802	
	2	82144.7	-10568.8	16821.5	2535.4	1059.83	
Балка-32(Зеркальне відображення 2[49])	1	39234.4	15780.3	-15202.7	1514.23	1412.28	
	2	-26762.6	14320.7	-9933.25	-215.075	-741.563	
Балка-33(Зеркальне відображення 1[9])	1	421.307	26.4704	-128.772	5.25557	4.46398	
	2	-405.689	3Д2.7157	-2.38069	-2.79573	-0.36162	
Балка-34(Зеркальне відображення 2[8])	1	2227Д2.7	-2359.16	-4209.57	773.409	-449.546	
	2	-14595.7	-6041.02	-437Д2.45	-312.304	42Д2.925	
Балка-35(Кутник УГ. 63 Х 63 Х 6(1)[2])	1	-1825.38	6Д2.6416	-0.68717	13.0057	1Д2.9921	
	2	1129.2	-213.053	-265.062	-10.0236	0.128602	
Балка-36(Зеркальне відображення 1[2])	1	31844.2	-15263.8	-11512.5	1623.72	-1103.04	
	2	-48742.9	-13197	-844Д2.6	-1016.8	788.16	

Напруження балок

Ім'я балки	З'єднання	По осі(N/m^2)	Напрямок згину 1(N/m^2)	Напрямок згину2(N/m^2)	Крутильний (N/m^2)	
Балка-1(Кутник УГ. 63 X 63 X 6(1)[3])	1	1.35374e+007	4.24524e+007	4.37686e+007	2.11568e+006	
	2	2.53931e+007	6.79754e+007	6.16005e+007	3.24875e+006	
Балка-2(Зеркальне відображення 2[23])	1	4.5186e+006	-1.79087e+007	1.81906e+007	2.50679e+007	
	2	1.30518e+007	-4.21091e+007	3.72731e+007	-4.0773e+007	
Балка-3(Зеркальне відображення 1[3])	1	4.50159e+007	1.07912e+008	5.28522e+007	-5.80339e+007	
	2	3.35145e+007	4.42232e+007	1.63935e+006	-1.59353e+007	
Балка-4(Зеркальне відображення 2[42])	1	2.38213e+006	5.95392e+006	-6.38225e+006	-1.46388e+006	
	2	1.04224e+006	4.23617e+006	-3.3405e+006	438534	
Балка-5(Зеркальне відображення 2[6])	1	4.5983e+007	-1.13568e+008	-8.14144e+007	-5.55589e+007	
	2	4.30082e+007	-1.05772e+008	-8.22228e+007	8.10249e+006	
Балка-6(Кутник КУТ. 125 X 125 X 8(1)[1])	1	1.08546e+007	-2.54513e+006	2.46483e+007	-9.38442e+007	
	2	6.0361e+006	8.66545e+006	6.814e+006	1.0591e+007	
Балка-7(Зеркальне відображення 2[24])	1	-Д2.93049e+006	1.73568e+007	810787	3.13952e+007	
	2	-1.21533e+007	8.27192e+006	-2.28416e+007	1.11886e+007	
Балка-8(Кутник УГ. 50 X 50 X	1	-829646	1.10655e+006	-57981	-1.30969e+006	

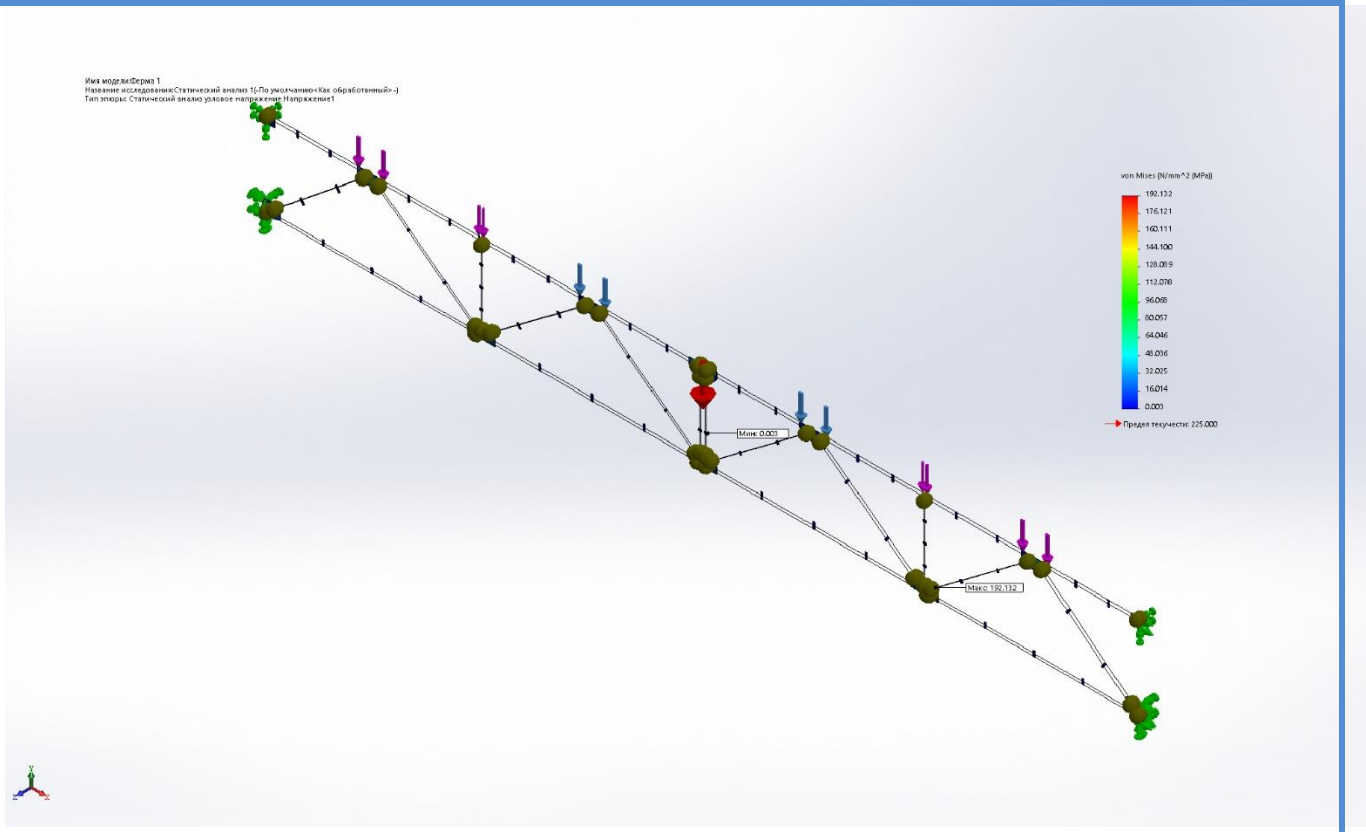
5(1))	2	-983629	1.26768e+006	-394651	79415.9	
Балка-9(Зеркальне відображення 1[4])	1	-1.40141e+007	-4.7612e+007	-4.63852e+007	1.02918e+007	
	2	-9.26284e+006	-3.82629e+007	-4.23439e+007	2.49115e+007	
Балка-10(Кутник КУТ. 125 X 125 X 8(1)[2])	1	-1.2351e+007	8.11868e+007	-Д2.10707e+007	-6.2923e+007	
	2	-2.47337e+007	Д2.16379e+007	-6.67352e+007	5.33473e+006	
Балка-11(Зеркальне відображення 2[14])	1	251032	209874	-124132	-530272	
	2	-11328.3	-291799	-200538	42218.4	
Балка-12(Зеркальне відображення 2[52])	1	-6.62193e+006	Д2.07162e+006	9.81406e+006	-1.70998e+006	
	2	-2.0982e+007	2.86556e+007	2.09093e+007	2.74295e+006	
Балка-13(Зеркальне відображення 2[4])	1	-8.37338e+006	-1.38304e+007	1.06317e+007	8.46568e+006	
	2	-2.06988e+007	-3.6906e+007	1.49155e+007	Д2.92964e+006	
Балка-14(Зеркальне відображення 1[5])	1	-1.119e+007	3.39404e+007	3.49085e+007	1.86481e+007	
	2	-2.50407e+007	6.63727e+007	5.98585e+007	-1.15345e+006	
Балка-15(Зеркальне відображення 2[15])	1	-1.28075e+007	-3.54748e+007	-3.44665e+007	1.53724e+007	
	2	-2.59353e+007	-3.86732e+007	-3.72208e+007	-1.30813e+006	
Балка-16(Кутник КУТ. 140 X 140 X 9(1))	1	-1.10454e+007	4.11982e+007	-4.08549e+007	-Д2.05836e+007	
	2	2.05838e+007	-5.03088e+007	1.70073e+007	-1.74696e+007	
Балка-17(Зеркальне відображення 1[6])	1	-9.29633e+006	4.34986e+006	-1.22319e+007	3.06882e+007	
	2	-1.93085e+007	3.16775e+007	-9.79455e+006	1.11387e+006	
Балка-18(Зеркальне	1	3.63137e+007	1.0556e+008	-Д2.9981e+007	2.73782e+007	

відображення 2[38])	2	4.05265e+007	8.46143e+007	-6.84794e+007	3.22462e+006	
Балка-19(Зеркальне відображення 2[45])	1	3.56585e+007	-3.55597e+007	4.03451e+007	Д2.91215e+007	
	2	-1.24905e+007	2.42794e+007	5.45742e+006	4.26543e+007	
Балка-20(Кутник КУТ. 110 Х 110 Х 7(1)[1])	1	-1.41268e+007	4.84085e+007	-4.69184e+007	-4.32583e+007	
	2	-9.55988e+006	4.01374e+007	-4.49359e+007	-1.79142e+007	
Балка-21(Зеркальне відображення 1[7])	1	1.1315e+007	2.32127e+006	2.53151e+007	1.00702e+008	
	2	3.64025e+006	-8.00602e+006	2.46276e+006	-1.69181e+007	
Балка-22(Зеркальне відображення 2[20])	1	-14597	209552	-190477	-305325	
	2	143260	-536721	757451	419263	
Балка-23(Зеркальне відображення 2[10])	1	2.96221e+006	-4.20895e+006	-5.78507e+006	1.42894e+006	
	2	1.19775e+006	-3.51048e+006	-3.12199e+006	518991	
Балка-24(Кутник КУТ. 110 Х 110 Х 7(1)[2])	1	-8.31744e+006	-3.80665e+006	-1.03069e+007	-1.22244e+007	
	2	-2.24783e+007	-3.9683e+007	-1.65248e+007	-4.20149e+006	
Балка-25(Зеркальне відображення 2[31])	1	-1.2146e+007	3.66045e+007	-3.38141e+007	837984	
	2	-2.5003e+007	3.4827e+007	-3.38168e+007	-1.23851e+006	
Балка-26(Зеркальне відображення 2[48])	1	1.64255e+007	2.02262e+007	1.02584e+007	-2.5558e+007	
	2	-1.27963e+007	-2.37598e+007	4.9089e+006	-3.68834e+007	
Балка-27(Зеркальне відображення 1[8])	1	2.79066e+006	4.43908e+006	5.83806e+006	1.54438e+006	
	2	1.32984e+006	4.13089e+006	2.54613e+006	-1.13136e+006	
Балка-28(Кутник УГ.	1	3.86367e+007	-9.28293e+007	5.01179e+007	3.8063e+006	

63 X 63 X 6(1)[1])	2	3.52963e+007	-5.06421e+007	4.8177e+006	2.16151e+007	
Балка-29(Зеркальне відображення 2[11])	1	6.32374e+006	2.83296e+007	2.84548e+007	9.13548e+006	
	2	1.35919e+007	4.42581e+007	3.95336e+007	3.17215e+007	
Балка-30(Зеркальне відображення 2[18])	1	-1.45836e+007	1.73844e+007	1.99082e+007	-1.84745e+007	
	2	-2.49794e+007	3.86836e+006	5.52356e+007	-1.17589e+007	
Балка-31(Зеркальне відображення 1[1])	1	-1.13587e+007	-4.16935e+007	-4.04983e+007	9.93712e+007	
	2	3.33075e+007	6.50856e+007	1.45643e+007	-6.83023e+007	
Балка-32(Зеркальне відображення 2[49])	1	-1.99844e+007	-3.31396e+007	2.53626e+007	3.42569e+007	
	2	-1.36317e+007	1.05193e+007	2.96429e+007	9.54263e+007	
Балка-33(Зеркальне відображення 1[9])	1	-874711	-3.88549e+006	3.72319e+006	-949660	
	2	-842285	-1.48536e+006	986285	1.59891e+006	
Балка-34(Зеркальне відображення 2[8])	1	-1.46195e+007	-3.60806e+007	17863.7	4.40623e+006	
	2	-9.57826e+006	-4.47037e+006	-1.73577e+007	1.56491e+006	
Балка-35(Кутник УГ. 63 X 63 X 6(1)[2])	1	2.48488e+006	-6.07114e+006	6.60835e+006	-1.32561e+006	
	2	1.53718e+006	-2.57063e+006	1.47689e+006	-356952	
Балка-36(Зеркальне відображення 1[2])	1	-1.62201e+007	-1.09207e+008	-9.87984e+007	1.17937e+008	
	2	-2.48276e+007	-Д2.11295e+007	-6.65588e+007	-1.72782e+006	

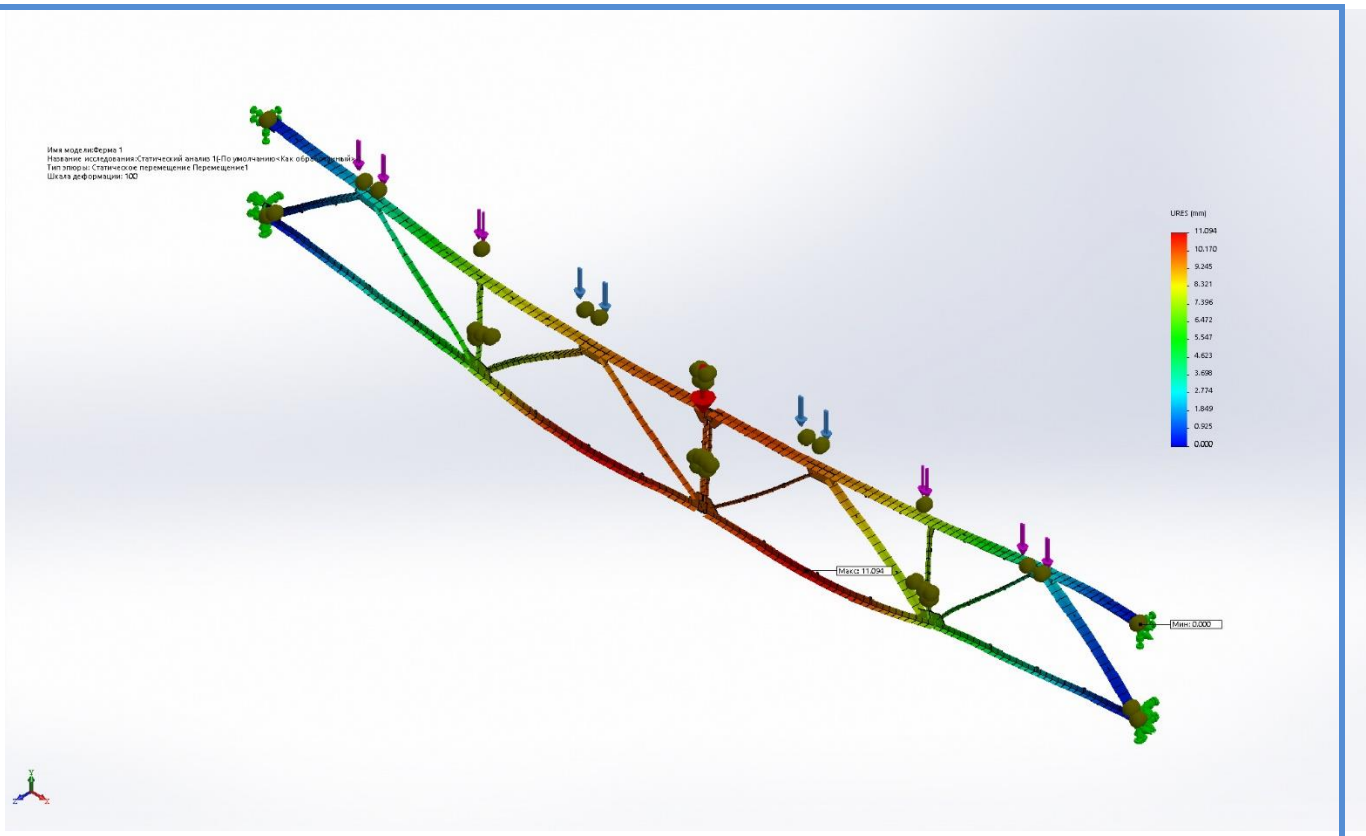
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ім’я	Тип	Мін	Макс
Напруження1	VON: **Напруження** Von Mises	0.000 N/mm^2 (MPa) Вузол: 20028	192.132 N/mm^2 (MPa) Вузол: 12991



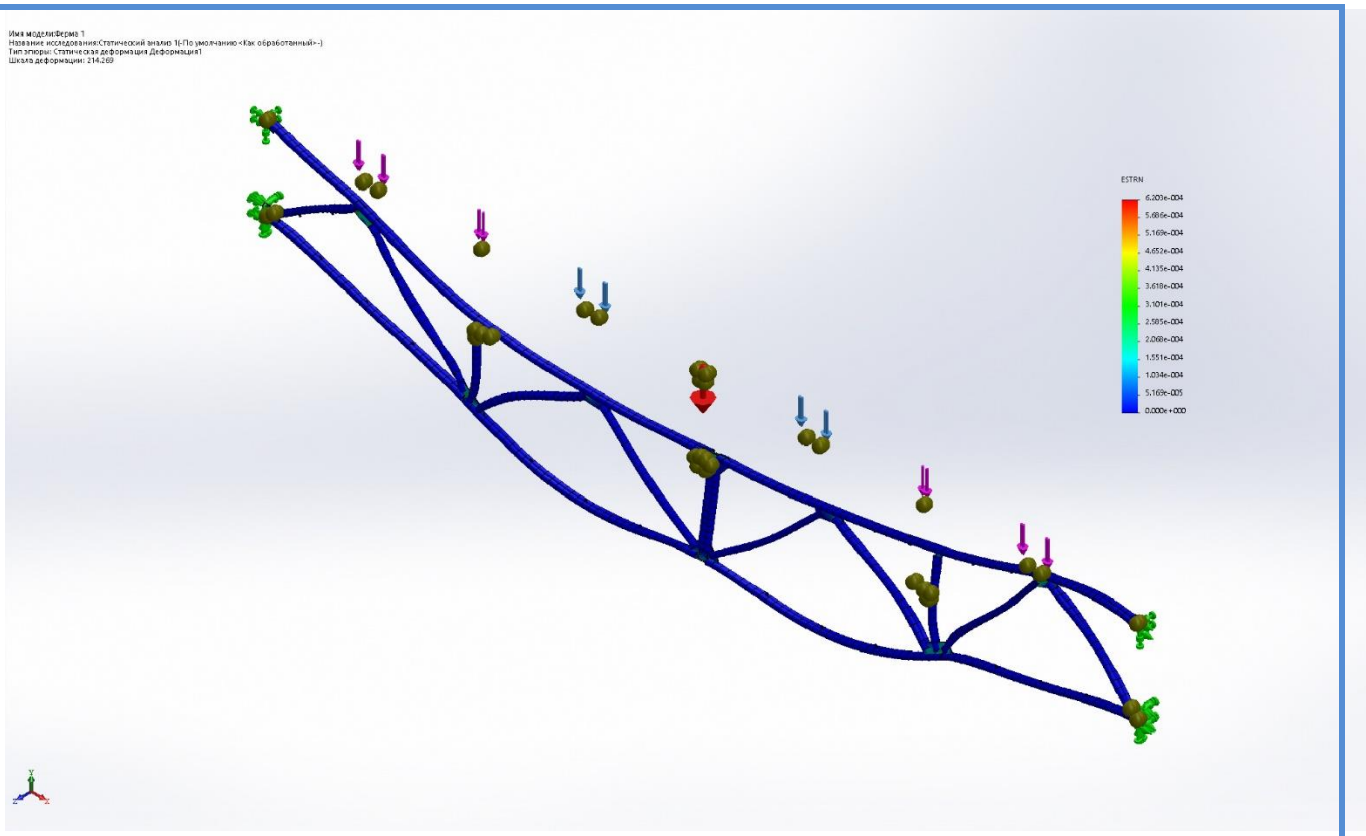
Ферма 1-Статический аналіз 1-Напруження-Напруження1

Ім’я	Тип	Мін	Макс
Переміщення 1	URES: Результуюче переміщення	0.000 mm Вузол: 1	11.094 mm Вузол: 20794



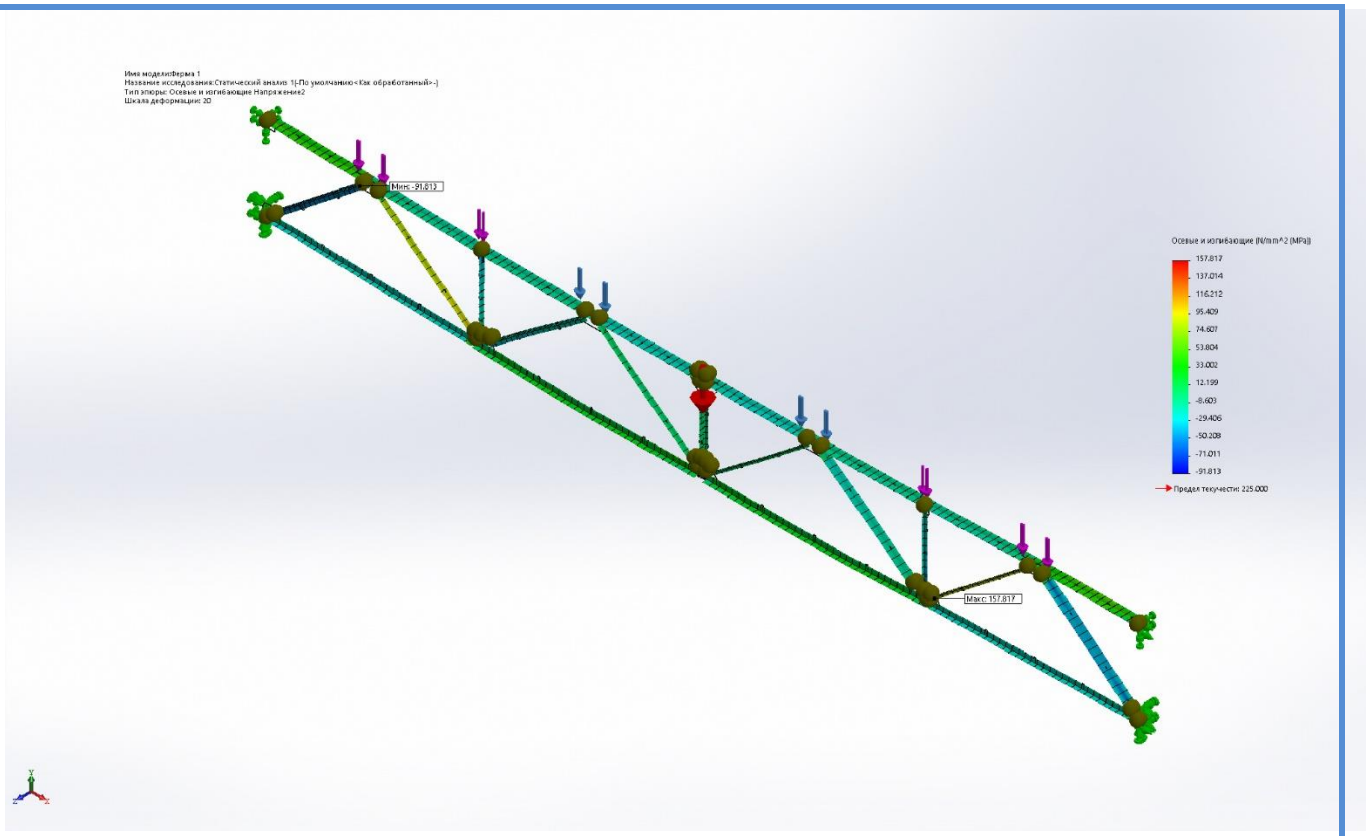
Ферма 1-Статичний аналіз 1-Переміщеннння-Переміщення

Ім’я	Тип	Мін	Макс
Деформація1	ESTRN: Еквивалентна деформація	0.000e+000 Елемент: 9116	6.203e-004 Елемент: 5461



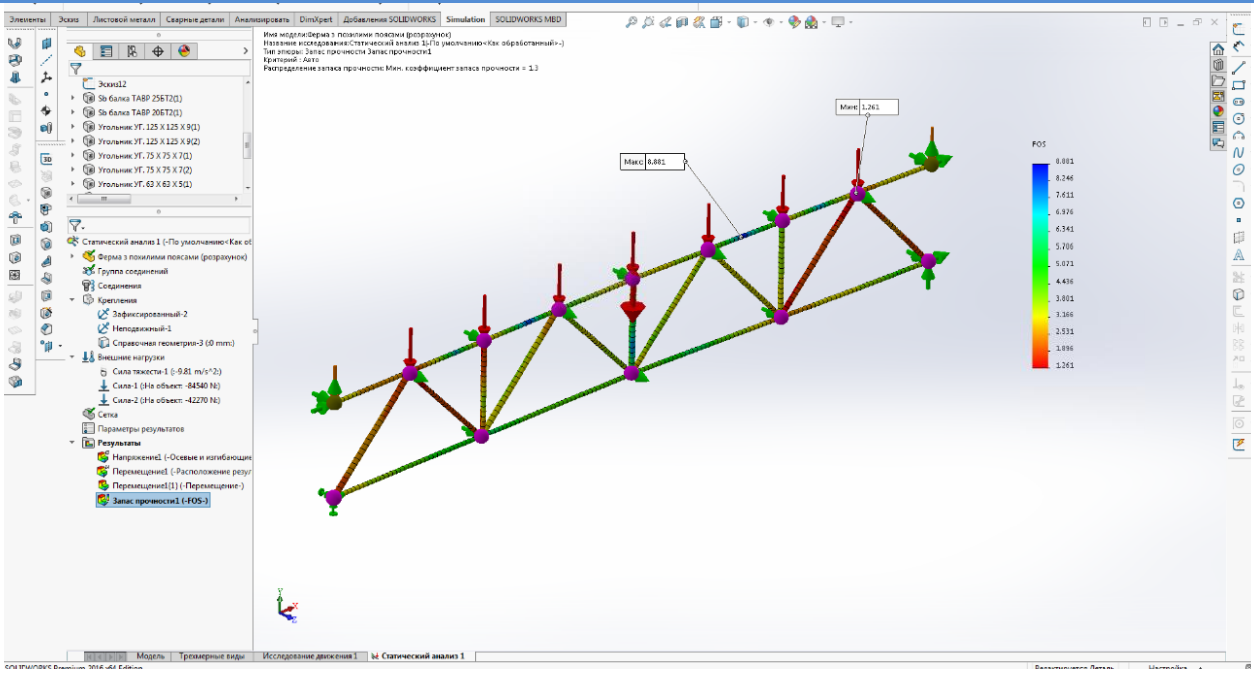
Ферма 1-Статичний аналіз 1-Деформація-Деформація1

Ім’я	Тип	Мін	Макс
Напруження	Осьові та згинальні	0.615 N/mm^2 (MPa) Елемент: 9670	299.756 N/mm^2 (MPa) Елемент: 9219



Ферма 1-Статичний аналіз 1-Напруження-Напруження

Ім’я	Тип	Мін	Макс
Запас міцності	**Максимальне нормальне напруження**	1.468 Вузол: 20135	10.000 Вузол: 2



Ферма 1-Статичний аналіз 1-Запас міцності-Запас міцності1

Висновок.

Аналіз результатів розрахунку показав, що для стрижнів 2–11 та 13–8 мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить 1,05, що є нижчим за допустиме значення 1,2.

З огляду на це виникла необхідність у зміні поперечних перерізів зазначених елементів ферми.

З метою підвищення несучої здатності розкосів кутник перерізом 70×70×6 було замінено на кутник 70×70×Д2.

З метою її облегшення ферми і прискорення підбору профілів прийнято рішення застосувати для аналізу ШІ Gemini

Д2. Розділ “ Охорона праці ”

Д2.1. Аналіз і оцінка небезпек при виконанні робіт в цеху машинобудівного підприємства

Технологічний процес капітального ремонту бойової техніки включає наступні виробничі заходи:

литі заготовки надходять до ремонтного цеху з ливарного цеху або складу обладнання та матеріалів. До моменту надходження вони проходять термічну обробку (відпалювання), обрізання надлишків металу та очищення поверхонь. Металеві конструкції доставляються у вигляді окремих транспортних вузлів;

механічна обробка деталей здійснюється із застосуванням спеціальних охолоджувальних рідин.

Найважливіший технологічний процес складання відновлених окремих вузлів і деталей машин включає такі види робіт:

встановлення та запресовування деталей за допомогою гідравлічних пресів, нагрівання елементів у масляних ваннах, а також використання охолоджувального обладнання;

виконання доводочних і притиральних операцій із використанням переносних пневматичних шліфувальних машин;

свердління отворів і нарізання різьби на стаціонарних та переносних свердлильних верстатах, а також за допомогою пневматичних свердлильних головок;

виконання болтових з'єднань із застосуванням пневматичних гайковертів;

перевірка та балансування виробів на спеціалізованих верстатах для статичного й динамічного балансування.

Виправлення деформованих деталей виконується за допомогою преса зусиллям 25 т. Термічна обробка деталей та інструменту, зокрема гартування і відпуск, проводиться в електропечах. Для поверхневого гартування деталей струмами високої частоти використовуються дві спеціалізовані високочастотні установки.

Під час виконання зазначених технологічних процесів, як і будь-яких інших виробничих операцій, існує ймовірність виникнення виробничого травматизму. Це зумовлено впливом низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів, зокрема:

- травмування внаслідок падіння або неналежного закріплення деталей, інструментів чи рухомих частин верстатного обладнання;
- ураження металевою стружкою;
- ураження електричним струмом;
- пошкодження шкірних покривів унаслідок контакту зі шкідливими речовинами або отримання опіків під час виникнення пожежі;
- ураження органів дихання металевим пилом через недостатню ефективність вентиляційної системи;
- недостатній рівень освітленості робочих зон.

Під час роботи на бетонній підлозі також існує ризик переохолодження організму працівників. Крім того, на виробничій дільниці є робочі місця, де в процесі виконання технологічних операцій можуть виділятися шкідливі речовини. До таких зон належать фарбувальні камери, пости очищення та підготовки поверхонь до фарбування, мийні установки й діагностичні пости. У виробничому цеху також виконуються електрозварювальні роботи, під час яких на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Основними з них є електричний струм, ультрафіолетове, видиме та інфрачервоне випромінювання, а також підвищена температура повітря в робочій зоні.

Небезпека ураження електричним струмом виникає, зокрема, під час заміни електродів у режимі холостого ходу, коли напруга на електродах може становити 50–70 В. Додаткову загрозу становить можливість контакту з електропроводами, які мають пошкоджену ізоляцію, а також із металевими частинами зварювального обладнання, що внаслідок несправності можуть опинитися під напругою.

Інтенсивність світлового випромінювання електричної дуги значно перевищує допустимі для людського ока показники. Ультрафіолетове випромінювання може спричиняти запалення слизової оболонки очей (електроофтальмію), а також опіки шкіри обличчя. Видиме випромінювання негативно впливає на сітківку та судинну оболонку очей, тоді як інфрачервоні промені можуть спричиняти ураження кришталика та рогівки. Відповідно, під час проведення зварювальних робіт необхідно забезпечувати належний захист органів зору та дотримуватися вимог безпеки.

Середня температура електричної дуги може досягати приблизно 4000 °С. За недостатньої ефективності вентиляції повітря в робочій зоні зварника нагрівається на 6–10 °С більше порівняно з температурою повітря за межами зварювальної кабіни. Тривале перебування в таких умовах може призвести до перегрівання організму працівника, погіршення його самопочуття та зниження працездатності.

Д2.2. Технічні заходи з техніки безпеки передбачені в роботі

Д2. 2.1 Розрахунок заземлення стенда для виправлення деформованих деталей.

Заземлювач – основний конструктивний елемент заземлюючого пристрою стенда для виправлення деформованих деталей.

Штучні заземлювачі, як правило, представляють собою вертикальні та горизонтальні електроди. У якості вертикальних електродів використовують сталеві стержні діаметром 10...48 мм і довжиною 1...2,5 м, або кутову сталь з товщиною полиці не менше ніж 4 мм, і довжиною 2,5...3 м. Їх верхній кінець після заглиблення повинен знаходитися на глибині 0,6...0,7 м від поверхні землі.

Використання вертикальних електродів із круглої сталі має певні переваги: вони пристосовані для механізованого заглиблення, дають значну економію металу порівняно з вертикальними електродами виготовленими з кутової сталі, дозволяють досягти необхідного заглиблення з меншими питомими витратами і меншою залежністю від сезонної зміни температури.

Для зв’язку між собою вертикальних заземлювачів і в якості самостійних заземлювачів використовують горизонтальні електроди – круглу сталь діаметром 10 мм або сталеву стрічку товщиною не менше ніж 4 мм.

Для монтажу заземлюючого пристрою з вертикальних і горизонтальних електродів попередньо підготовлюють траншею глибиною 0,Д2...0,8 м. Вертикальні електроди заглиблюють механізованим способом за допомогою машини пневмоударної дії для заглиблення в ґрунт електродів заземлення ПУМ-3 і для електродів, які заглиблюються шляхом укручування в ґрунт УВЕГ-16.

Розрахунок заземлюючого пристрою зводиться до визначення кількості вертикальних та горизонтальних електродів заземлювача залежно від потрібного у відповідності до ПУЕ опору заземлення, питомого опору землі у місці створення заземлення, розмірів електродів і конфігурації заземлення.

Необхідна величина опору заземлюючого пристрою для розробленого стенда згідно з вимогами ПУЕ становить 10 Ом.

Визначимо питомий опір ґрунту за формулою

$$\rho = \rho_0 \cdot \psi, \qquad (Д2.1)$$

де ψ – коефіцієнт сезонності для електродів довжиною до 3 м і III кліматичної зони [14, с. 181] $\psi = 1{,}5$;

ρ_0 – питомий опір грунта, для глини приймаємо $\rho_0 = 220$ Ом;

Тоді за формулою (8.2) одержимо

$$\rho = 220 \cdot 1{,}5 = 330 \quad \text{Ом.} \qquad (Д2.2)$$

Опір розтіканню струму для вертикального електрода із круглої сталі визначимо за формулою

$$R_в = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_в} \cdot \left(ln \frac{2 \cdot l_в}{d} + 0{,}5 \cdot ln \frac{4 \cdot t_в + l_в}{4 \cdot t_в - l_в} \right), \qquad (Д2.3)$$

де d – діаметр електрода, приймаємо $d = 0{,}03$ м;

$l_в$ – довжина вертикального електрода, приймаємо $l_{‰} = 3$ м;

$t_в$ – глибина занурення електрода, приймаємо при $l = 3$ м $t_{‰} = 2{,}5$ м.

$$R_{‰} = \frac{330}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0{,}03} + 0{,}5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2{,}5 + 3}{4 \cdot 2{,}5 - 3} \right) = 98{,}16 \text{ Ом.} \qquad (Д2.4)$$

Схема установки одиночного електрода наведена на рисунку Д2.1.

Потрібна кількість вертикальних електродів:

$$n = \frac{R_B}{R_З \cdot \eta_B} = \frac{98{,}16}{10 \cdot 1{,}01} = 9{,}71 = 10 шт \qquad (Д2.5)$$

Опір розтіканню струму горизонтального електрода зі стрічкової сталі

$$R_г = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l_г} \cdot ln \frac{l_г^2}{b \cdot t_г}, \qquad (Д2.6)$$

де $l_г$ – довжина горизонтального електрода, визначається як добуток кількості n вертикальних електродів на відстань l_0 між ними, при $l_{‰} = 1{,}5$ м $l_0 = 2 \cdot l_{‰} = 2 \cdot 1{,}5 = 3$ м, тоді у разі використання 10 вертикальних електродів $l_г = l_0 \cdot n = 3 \cdot 10 = 30$ м;

b – ширина сталевої стрічки, приймаємо $b = 0{,}05$ м;

$t_г$ – глибина занурювання горизонтального електрода.

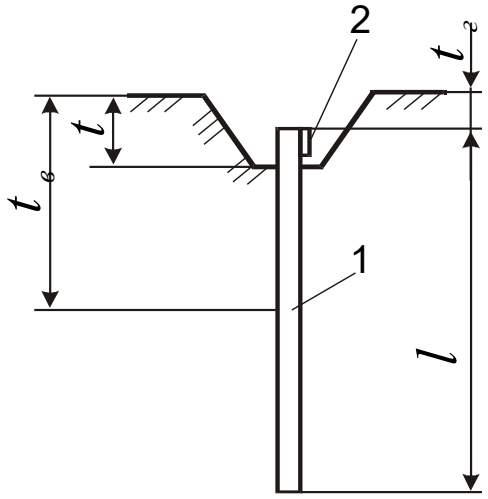


Рисунок Д2.1 – Схема розташування одиночного електрода:

1 – горизонтальний електрод, 2 – вертикальний електрод

$$R_{г} = \frac{330}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 30} \cdot \ln \frac{30^2}{0{,}05 \cdot 0{,}5} = 18{,}37 \text{ Ом.} \qquad \text{(Д2.7)}$$

Опір групового заземлюючого пристрою

$$\boldsymbol{R = \frac{R_в \cdot R_г}{R_в \cdot \eta_г + R_г \cdot \eta_в \cdot n}}, \qquad \text{(Д2.8)}$$

де $\eta_г$ – коефіцієнт використання горизонтального електрода, при кількості вертикальних електродів $n = 10$ штук, їх рядному розташуванніїх, та відношенні відстані між ними до їх довжини $\frac{l_0}{l_в} = 2$, приймаємо $\eta_г = 0{,}75$ [14, с. 184];

$\eta_в$ – коефіцієнт використання вертикального електрода, при кількості вертикальних електродів $n = 10$ штук, їх рядному розташуванніїх, та відношенні відстані між ними до їх довжини $\frac{l_0}{l_в} = 2$, приймаємо $\eta_в = 0{,}81$ [14, с. 184];

Тоді за формулою (Д2.8) визначаємо опір групового заземлюючого пристрою

$$R = \frac{98{,}16 \cdot 18{,}37}{98{,}16 \cdot 0{,}75 + 18{,}37 \cdot 0{,}81 \cdot 10} = 8{,}1 \text{ Ом} \qquad \text{(Д2.9)}$$

Розрахункова величина опору заземлюючого пристрою не перевищує необхідної величини $8{,}1 < 10$. На основі цього можна зробити висновок, що прийнята конструкція заземлюючого пристрою забезпечує необхідний рівень електробезпеки .

Д2.2. Розрахунок освітлення дільниці по складанню базових деталей

Кількість ламп, необхідних для забезпечення нормативної освітленості виробничого приміщення, визначаємо за методом коефіцієнта використання світлового потоку:

$$N = \frac{E_H \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta \cdot \Phi_л}$$

де: де E_H - нормоване (необхідне) освітлення, лк;

S - площа приміщення, $м^2$;

К - коефіцієнт запасу (для ламп ДРЛ=1,5);

Z - коефіцієнт нерівномірності висвітлення (для ламп типу ДРЛ Z=1,1);

$\Phi_л$ - світловий потік ламп дорівнює 5600 лм;

η - коефіцієнт використання світлового потоку

Після підстановки вихідних даних у формулу визначаємо необхідну кількість світильників для забезпечення нормативного рівня освітленості виробничої дільниці.

Для завершення числового розрахунку потрібні площа цеху (довжина × ширина) та потужність обраних ламп ДРЛ (наприклад, 250, 400 або 700 Вт).

У розрахунку приймаємо нормативну освітленість 300 лк, а як джерело світла для системи загального освітлення використовуємо лампи ДРЛ. Решту параметрів визначаємо з урахуванням геометричних характеристик приміщення та технічних характеристик світильників.

За отриманими результатами встановлюємо необхідну кількість світильників, яка забезпечить відповідність освітлення виробничої дільниці встановленим нормативним вимогам.

Для відшукання η потрібно згідно вимогам ДБН В.2.5-28:2018. знайти індекс приміщення і :

$$i = \frac{S}{H_p(L+B)}, \quad \text{(Д2.11)}$$

де H_p - розрахункова висота підвіски світильника;

L і В - відповідно довжина і ширина ділянки складання базових деталей.

$$i = \frac{180}{4{,}8(10+18)} = 1{,}3 \quad \text{(Д2.12)}$$

Знаходимо значення $\eta = 42\%$

$$N = \frac{300 \cdot 1{,}5 \cdot 180 \cdot 1{,}1}{0{,}42 \cdot 5600} = 37{,}8 \approx 38 \text{ шт.} \quad \text{(Д2.13)}$$

Приймаємо для освітлення ділянки лампи ДРЛ 125 у кількості 38 штук.