

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНИ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

магістр

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження ефективності моделей конструктивного вирішення просторових світлопрозорих покриттів

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1922-мбг-дн
спеціальності 192 Будівництво та цивільна
інженерія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Міське будівництво та
господарство

(назва освітньої програми)

Тугу Файсал

(ініціали та прізвище)

Керівник проф.,к.арх, Єгоров Ю. П.

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

Рецензент доц.,к.т.н, Банах А. В.

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

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри [підпис]
« 10 » 10 20 23 року

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

Туту Файсалу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Дослідження ефективності моделей конструктивного вирішення просторових світлопрозорих покриттів

керівник роботи проф..к.арх, Єгоров Ю. П.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 09 » 10 2023 року № 1578-с

1 Строк подання студентом роботи 01.03.2024

2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливість розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд. Аналіз теоретичних досліджень щодо ефективності застосування різних конструктивних схем світлопрозорих покриттів на каркасі з алюмінієвих профілів. Визначення меж застосування світлопрозорих покриттів з алюмінієвих профільних систем за першим і другим граничним станом

4. Перелік професійного матеріалу (з точним зазначенням обов'язково прізвища). Призначення із результатами аналітичних обґрунтувань наукових, науково-досліджувальних, результатами експериментальних досліджень, досліджень дисциплінар із застосуванням сучасних інформаційних методів дослідження.

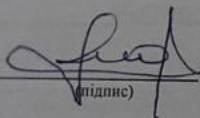
5. Консультанти розділів роботи

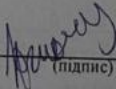
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Єгоров Ю. П.		
2	Єгоров Ю. П.		
3	Єгоров Ю. П.		

6. Дата видачі завдання 01.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	01.01	
2	Розділ 1	15.01	
3	Розділ 2	01.02	
4	Розділ 3	15.02	
5	Розробка графічної частини	20.02	
6	Оформлення роботи	25.02	
7	Попередній захист	01.03	

Студент  (підпис) Туту Файсал (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  (підпис) Єгоров Ю. П. (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис) Гребенюк І.В. (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Туту Файсал. Дослідження ефективності моделей конструктивного вирішення просторових світлопрозорих покриттів.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник Ю.П. Єгоров. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2024.

Розрахунок та дослідження напружено-деформованого стану стоечно-ригельних каркасів для двосхилий покриття, аркового склепіння та покриття у формі піраміди методом кінцевих елементів.

Ключові слова: СХЕМА, ЕФЕКТИВНОСТІ, КАРКАС, ПОКРИТТЯ, АЛЮМІНІЄВИЙ ПРОФІЛІ, КОНСТРУКЦІЯ.

ABSTRACT

Tutu Faisal. Research of the effectiveness of the constructive solution models of spatial translucent coatings.

Qualifying graduation thesis for obtaining a master's degree of higher education in the specialty 192 - Construction and civil engineering, academic supervisor Yu.P. Egorov. Engineering Educational and Scientific Institute named after U.M. Potebny ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2024.

Calculation and study of the stress-strain state of rack-and-beam frames for gable roofing, arched vaulting and pyramid-shaped roofing by the finite element method.

Key words: SCHEME, EFFICIENCY, FRAME, COATING, ALUMINUM PROFILE, CONSTRUCTION.

ЗМІСТ

	Вступ	6
Розділ 1	Передумови застосування алюмінієвих профільних систем у будівництві світлопрозорих покриттів	8
1.1	Історія розвитку алюмінієвих конструкцій	8
1.2	Властивості та характеристики алюмінієвих сплавів	9
1.3	Технологія виробництва алюмінієвих профілів	14
1.4	Області застосування алюмінієвих конструкцій у будівництві	15
1.5	Конструкції світлопрозорих покриттів та огляд основних виробників систем із алюмінієвих профілів	17
1.6	Теоретична та нормативна база з розрахунку будівельних алюмінієвих конструкцій	25
1.7	Висновки по розділу	26
Розділ 2	Вибір конструктивних схем конструкцій, що розраховуються, і збір діючих на них навантажень	28
2.1	Коротка характеристика об'єкта	28
2.2	Двосхилий світлопрозоре покриття	28
2.3	Арочне склепіння	31
2.4	Конструктивна схема "Піраміда"	36
2.5	Світлопрозоре заповнення	38
Розділ 3	Дослідження напружено-деформованого стану стояково-ригельного каркасу світлопрозорого покриття	39
3.1	Методика розрахунку за граничними станами	39
3.2	Розрахунок за I групою граничних станів	40
3.3	Розрахунок за II групою граничних станів	42
3.4	Розрахунок просторово-стрижневих моделей МКЕ	45
3.5	Опис розрахункової схеми МКЕ	46
3.6	Результати розрахунку МКЕ	47
3.7	Аналіз результатів розрахунків МКЕ	77
	Основні висновки	80
	Список використаних джерел	82

ВСТУП

У сучасній архітектурі все більше будівель проектуються і будуються із застосуванням великих обсягів захисних світлопрозорих конструкцій. Це обумовлено, в першу чергу, яскраво вираженим дизайном, а також високою природною освітленістю приміщень. Одним із типів світлопрозорої оболонки будівлі є світлопрозорі покриття - zenітні ліхтарі.

Найчастіше їх застосовують при проектуванні будівель з великими розмірами в плані, для природного освітлення приміщень, що знаходяться на відстані від зовнішніх стін. Верхнє світло дає вдвічі більше освітленості, ніж бічне. Так як світло проникає в приміщення не на 5-7 метрів, як з вікна, а покриває практично кожен квадратний метр площі приміщення.

Zenітні ліхтарі поділяють за призначенням на:

- світлові (служать для природного освітлення);
- світло-аераційні (служать для природного освітлення та вентиляції).

За формою:

- односхилі;
- двосхилі;
- арочні;
- купольні.

Як матеріал для виготовлення каркасів даних конструкцій використовують: алюміній, сталь ПВХ. Основними характеристиками, якими повинні володіти конструкції світлопрозорих покриттів, є захист від кліматичних впливів (атмосферні опади, вітер) і здатність сприймати навантаження, що діють на конструкцію (снігове, вітрове, спеціальні навантаження).

Найбільш поширеними для виготовлення конструкцій покриттів та zenітних ліхтарів є алюмінієві профільні системи. Перевагою таких систем є технологічність виготовлення та монтажу конструкцій, естетичність зовнішнього вигляду, екологічність і досить високі характеристики міцності, що дозволяє виконувати конструкції покриттів певних габаритних розмірів

без використання додаткових несучих металевих конструкцій.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є теоретичне дослідження конструктивних схем світлопрозорих покриттів на самонесучому каркасі з алюмінієвих профільних систем.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є конструкція світлопрозорих покриттів .

Предмет дослідження. Предметом дослідження є визначення меж застосування конструкцій світлопрозорих покриттів на підставі проведених розрахунків.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувалися узагальнення та аналіз теоретичних та практичних досліджень на тему роботи. Системний підхід є методологічною основою всього дослідження та використовується для вирішення більшості поставлених завдань. Аналіз та моделювання використані при виконанні розрахунків.

Наукова новизна одержаних результатів. Полягає в визначення меж застосування світлопрозорих покриттів з алюмінієвих профільних систем за першим і другим граничним станом.

Практичне значення одержаних результатів. Практична значущість полягає у тому що отримані результати розрахунків та аналізу є науковою основою для проектування конструкцій світлопрозорих покриттів на самонесучому каркасі з алюмінієвих профільних систем.

Особистий внесок дослідника. Постановки мети та завдання дослідження. Збір та аналіз даних для проведення дослідження.

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел містить 86 сторінок, 55 рисунків, 6 таблиць, 41 список використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

ПЕРЕДУМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ ПРОФІЛЬНИХ СИСТЕМ У БУДІВНИЦТВІ СВІТЛОПРОЗОРИХ ПОКРИТТІВ

1.1. Історія розвитку алюмінієвих конструкцій.

Значну роль тому, що у ХХ столітті світлопрозорі конструкції стрімко завоювали ринок, відіграло застосування алюмінієвих каркасів. Вони привертають увагу архітекторів своїми головними властивостями: естетичність зовнішнього вигляду, довговічністю, стійкістю в зовнішньому середовищі, можливість виготовлення різних форм. Головними перевагами систем на основі алюмінію визнаються сучасний зовнішній вигляд, високий рівень звуко та теплоізоляції. При цьому одна з найбільш важливих якостей - відносно мала власна вага при досить високих характеристиках міцності, що дозволяє економити на несучих конструкціях будівлі в цілому.

Перший промисловий спосіб виробництва алюмінію розробили ще 1850-х роках. Наприкінці ХІХ століття технологія була успішно вдосконалена і стала доступною для масового виробництва. Пізніше було запропоновано сплави алюмінію з добавками міді, магнію та марганцю. У 1911 р. у місті Дюрене (Німеччина) було вироблено першу партію дюралюмінію, а 1919 р. з нього було вперше виготовлено корпус літака. ХХ століття ознаменовано розробками в галузі сплавів та широким впровадженням деталей та конструкцій з алюмінію в різні галузі техніки, у тому числі в будівельну галузь. Споживання алюмінію нині сягає 30 млн тонн на рік.

Вперше в нашій країні елементи будівельних конструкцій з алюмінієвих сплавів почали використовувати в 1960-х роках для будівництва висотних будівель у Києві. Дерев'яні палітурки того часу мали ряд недоліків, таких як недовговічність і ненадійність в експлуатації.

Сталеві рами швидко піддавалися корозії, мали велику вагу і були незручні в експлуатації. Алюмінієві палітурки були позбавлені цих недоліків, і тому першою областю в будівництві, в якій було дано початок застосуванню

алюмінієвих конструкцій, стало виготовлення вікон і дверей.

Вивченням алюмінієвих сплавів, досвідченим проектуванням та впровадженням будівельних конструкцій було зайнято багато наукових та проектних організацій СРСР, наприклад, у 1931 році в Ленінграді було засновано Всесоюзний науково-дослідний та проектний інститут алюмінієвої, магнієвої та електродної промисловості. У 1958 році несучі конструкції головного павільйону СРСР на Всесвітній виставці в Брюсселі (ферми, прогони, фахверк), а також огорожувальні конструкції та оздоблювальні елементи були виконані з алюмінієвих сплавів.

В даний час в Україні активно застосовуються архітектурні системи на основі алюмінієвих профілів.

1.2. Властивості та характеристики алюмінієвих сплавів

Алюміній - хімічний елемент III групи періодичної системи Менделєєва, хімічно активний срібристо-білий метал з температурою плавання 660 °С. Поширеність в природі алюмінію займає третє місце, а серед металів - перше, складаючи 8,8% земної кори. Алюміній отримують шляхом електролізу глинозему в розплаві кріоліту (фтористий натрій), що знижує температуру плавлення глинозему з 2050 до 950 °С. Чистий алюміній (вміст алюмінія 99,99%, остальна примісь) в будівельних конструкціях не застосовується, так як міцність його при високій вартості недостатня. У деяких випадках, коли потрібна висока пластичність (наприклад, для отримання декоративних штампованих елементів складної форми), застосовують технічний алюміній із вмістом вмісту не більше 0,5 ... 1,2% (відносна довжина становить 35%). В інших випадках використовують сплави алюмінію, звані марками алюмінію. Від природи та вмісту легуючих компонентів у тій чи іншій марці алюміній залежить її механічні властивості, технологічність, корозійну стійкість. Як правило, збільшення вмісту легуючих добавок підвищує міцність алюмінію, але знижує його пластичність і зменшує корозійну стійкість. Алюміній за своїми властивостями істотно відрізняється

від сталі. Його удельний вес в середньому становить $2,7 \text{ т/м}^3$, що практично в три рази легше сталі. Модуль міцності алюмінію при температурі від -40 до $+50 \text{ С}$ становить $E = 70000 \text{ МПа}$, що також в три рази менше, ніж для сталі.

Алюміній немає майданчика плинності: на діаграмі розтягування (Рис.1.1) пряма пружних деформацій безпосередньо перетворюється на криву пружнопластичних деформацій. За межу плинності приймається напруга, що відповідає відносному залишковому подовженню $0,2\%$. Алюміній дуже пластичний: подовження при розриві чистого алюмінію досягає $40 - 60\%$, але міцність його дуже низька, межа міцності чистого алюмінію становить лише $75 - 90 \text{ МПа}$, межа плинності $30 - 40 \text{ МПа}$. Чистий алюміній легко піддається корозії, але дуже швидко покривається тонкою плівкою міцного окису, що припиняє подальшу корозію.

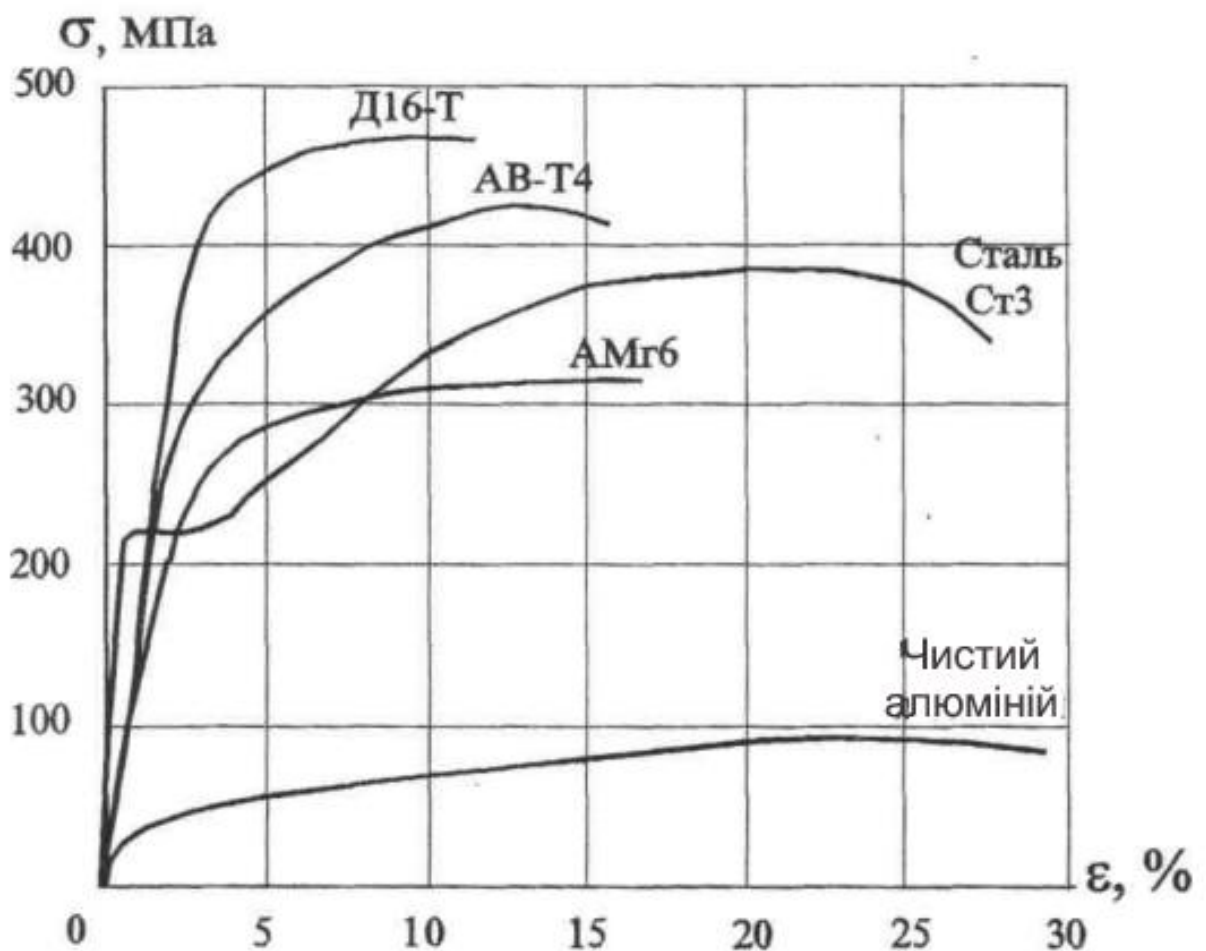


Рисунок 1.1 - Діаграма розтягування алюмінієвих сплавів:

1 – чистий алюміній; 2 – АМг6; 3 – АВ-Т1; 4 – ДІ6-Т; 5 – сталь марки Ст3.

Внаслідок досить низької міцності алюміній у чистому вигляді в будівельних конструкціях не застосовують. Виходячи з цього, його зміцнюють такими методами як:

- 1) легуванням - сплавленням з іншими металами, яке підвищує міцність, але знижує пластичність і дещо погіршує стійкість проти корозії;
- 2) нагартовкою (витяжкою);
- 3) термічною обробкою та природним чи штучним старінням. Тому алюмінієві сплави мають велику кількість марок. Стан сплаву може бути відпалений (м'який М); напівнагартоване (П), загартоване і природно зістарене протягом 3-6 діб при кімнатній температурі (Т); нагартоване (Н), загартоване та штучно зістарене при підвищеній температурі протягом кількох годин (Т1).

У будівельних конструкціях застосовують такі сплави:

1. Сплави алюмінію з магнієм (марки АМг5В і АМг6) добре зварюються і дуже стійкі до корозії. Термічній обробці не піддаються; їх міцнісні показники, що визначаються присадкою титану або ванадію, виявляються дещо нижчими за показники сталі 3 (межа міцності для сплаву АМг6 близько 320 МПа, межа плинності - 160 МПа, відносне подовження - 15%). Однак знижені механічні характеристики частково погашаються невеликою масою алюмінію, внаслідок чого його застосування дає більш легку конструкцію, незважаючи на низьку міцність. Сплав АМг6 містить 6 - 7% магнію та 0,5 - 0,8% марганцю. В огорожувальних конструкціях переважно застосовуються сплави з меншими показниками міцності. До них відноситься сплав АМг, що містить всього 2,5% магнію.

2. Сплави алюмінію з міддю та магнієм та невеликою кількістю марганцю називаються дюралюмінами (марка Д). Дюралюмін - найдешевший алюмінієвий сплав. Застосовуються такі марки дюралюміну:

а) Д16-Т - міцний метал, що має після термічної обробки та природного старіння межа міцності 400 - 520 МПа, межа плинності 280 - 380 МПа і подовження 10 - 13%; у відпаленому стані (марка Д16-М) межа міцності знижується до 230 МПа при подовженні 13%; в сплав Д16 входить близько 4%

міді, 1,5% магнію та 0,06% (в середньому) марганцю;

б) Д1-Т - сплав, що має після термічної обробки та природного старіння межу міцності (приблизно) 360 МПа, межу плинності 220 МПа та подовження 12%; сплав Д1-Т містить 4% міді та 0,6% магнію. Дюралюмін погано зварюється і схильний до утворення тріщин при високих температурах, тому його застосовують переважно в клепаних конструкціях. Стійкість дюралюміну проти корозії дещо нижча, ніж у магнієвих сплавів. Для підвищення стійкості проти корозії листи дюралюміну часто застосовують плакованими, тобто покритими тонким шаром чистого алюмінію.

2. Сплави алюмінію з кремнієм та магнієм. До них належить сплав АВ, званий авіалем. До його хімічного складу входять: кремнію близько 1%, магнію - 0,7%, міді - 0,4%, марганцю або хрому - 0,25% (у середньому). Після термічної обробки та штучного старіння авіаль має межу міцності 280-330 МПа, межу плинності 230 - 280 МПа та подовження близько 12% (марка АВ-Т1). Він дуже стійкий проти корозії і пластичний, добре зварюється атомно-водневим і точковим зварюванням, але досить дорогий. Відпалений авіаль (марка АВМ) має нижчі характеристики (межа міцності приблизно 120 МПа при подовженні - 24%). До тієї ж групи відноситься сплав АДЗЗ (кремній близько 0,6% і магній - 1%), що має приблизно однакові з авіалем міцнісні характеристики.

3. Високоміцні сплави (марки У). Їх основними компонентами є: цинк, мідь та марганець. Мають межу міцності 500 - 550 МПа, межею плинності 400 - 450 МПа і відносним подовженням 6% (марка В95-Т1). Зазвичай у конструкціях застосовуються сплави після термічної обробки та старіння (марки Т), відпалені сплави (марки М) застосовуються для огорож (покрівель), а також для судин, виготовлення яких супроводжується великими пластичними деформаціями. Для зварних конструкцій застосовують магнієві сплави та авіаль, для клепаних – дюралюмін та авіаль. Високоміцні сплави застосовують у виняткових випадках.

Відповідно до вимог ДБН В.2.6-165:2011 "Алюмінієві конструкції. Основні положення", як основний матеріал для алюмінієвих конструкцій у

будівництві застосовується деформований алюміній (АТ) марок та станів:

- термічно неукріплюваний алюміній АД1М, АМцМ, АМг2М, АМг2П;
- термічно зміцнюваний алюміній АД31-Т, АД31-Т1, 1925-Т, 1915-Т.

Алюмінієві профілі, що використовуються в системах світлопрозорих конструкцій виготовляються за ДСТУ Б В.2.6-3-95 (ГОСТ 22233-93) «Профілі пресовані з алюмінієвих сплавів для огорожувальних будівельних конструкцій. Загальні технічні умови». Основна марка сплаву для таких конструкцій - 6060 зі станом матеріалу Т66 з такими фізичними характеристиками:

- 1) модуль пружності $E = 70000$ МПа;
- 2) Модуль зсуву $G = 26500$ МПа;
- 3) Коефіцієнт поперечної деформації (Пуассон) $\nu = 0,3$;
- 4) Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha = 0,23 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- 5) Щільність $\rho = 2700$ кг/м³.

Значення розрахункового опору алюмінію при розтягуванні, стисканні та згинанні R приймається рівним меншому зі значень розрахункового опору за умовною межею плинності R_y і розрахункового опору з тимчасового опору R_u :

$$R_y = R_{yn} / \gamma_m = 160 / 1,1 = 145,4 \text{ МПа}$$

$$R_y = R_{un} / \gamma_m \gamma_u = 215 / 1,1 \cdot 1,45 = 134,8 \text{ МПа}$$

Для профілів із товщиною стінки до 3 мм. зі сплаву 6060 Т66:

$R_{yn} = 160$ МПа (нормативний опір алюмінію, що приймається рівним значенню умовної межі плинності перерізу $\sigma_{0,2}$);

$R_{un} = 215$ МПа (нормативний опір алюмінію розриву, що приймається рівним мінімального значення тимчасового опору σ_p).

$$\gamma_m = 1,1$$

$$\gamma_u = 1,45$$

1.3. Технологія виробництва алюмінієвих профілів

Алюмінієвий профіль - це пресований виріб із заданими розмірами та формою поперечного перерізу, який виготовляється методом екструзії гомогенізованих алюмінієвих сплавів. Екструзія - складний у технологічному плані процес, заснований на властивості пластичної деформації алюмінію. Суть процесу полягає у видавлюванні нагрітого до певної температури алюмінію через матрицю з поперечним перерізом необхідної форми. Матрицею є знімна складова частина пресового комплексу, яка змінюється залежно від необхідної геометрії профілю. Матриця - сталевий диск, що складається з декількох частин (залежно від складності форми профілю), призначений для формоутворення необхідної геометрії профілю. Головним складовим виробничої лінії є - прес, що працює з певним зусиллям (наприклад, 1500 тс). Лінії обладнані системою контролю температури злитка та профілю, а також системою автоматичного контролю та управління високошвидкісними пулерами.

Процес виробництва алюмінієвого профілю включає кілька етапів:

- нагрів зливка в індукційній печі зі створенням градієнта температур по довжині;
- нарізування зливка у розмір, необхідний пресування;
- Пресування з натягом;
- загартування профілю;
- правка профілю на правильно-розтяжних пристроях; - Нарізка профілю у розмір;
- термообробка (старіння) у спеціальних автоматичних газових печах.

Технологія пресування дозволяє отримати монолітні профілі складної форми з порожнинами, з місцевими потовщеннями, виступами, пазами. У порівнянні зі сталевими холодногнутими або зварними профілями очевидна перевага алюмінієвих профілів. Оскільки методом пресування можна отримати профіль має оптимальне переріз з погляду розподілу металу, обумовлене роботою конструкції. У той час як у гнутих і особливо зварних

сталевих профілях неминучі не виправдані потовщення стін та ребер. Крім того, багато форм, звичайних для пресованих алюмінієвих профілів, отримати шляхом зварювання прокатних сталевих профілів або згинання неможливо. На переналагодження преса при переході до виробництва профілю іншої форми потрібен незначний час, тому найповніше переваги пресування реалізуються при виготовленні широкої номенклатури профілів складної форми, з місцевими змінами товщини стінок, пазами, порожнинами та каналами.

Застосування спеціальних профілів дозволяє суттєво зменшити обсяг наступних операцій з обробки та збирання конструкцій. Механічна обробка алюмінієвих деталей в порівнянні зі сталевими вимагає легшого обладнання, і виконується з вищою швидкістю.

1.4. Області застосування алюмінієвих конструкцій у будівництві

Завдяки своїм властивостям конструкції з алюмінієвих пресованих профілів знаходять застосування у багатьох галузях будівництва. У деяких випадках вони стають незамінними, у тому числі при будівництві у важкодоступних, сейсмонебезпечних районах та районах із суворим кліматом.

Багато в чому це зумовлено такими перевагами алюмінію:

- відносно мала щільність;
- антимагнітні властивості;
- висока антикорозійна стійкість;
- стійкість до низьких температур;
- бактерицидність;
- відсутність іскроутворення;
- відображає здатність;
- хороша демпфуюча здатність;
- довговічність;
- естетичність зовнішнього вигляду.

При будівництві в умовах крайньої півночі важливою є така якість

алюмінію, як надійність роботи при низьких температурах. Низька холодостійкість – це нестача більшості будівельних матеріалів. Для деяких конструкцій цей фактор має не менше значення, ніж корозійна стійкість або мала маса. У вибухонебезпечних виробничих приміщеннях важлива інша перевага алюмінію - відсутність іскроутворення при ударі, а в деяких випадках важливим фактором застосування алюмінію є його немагнітність.

Корозійна стійкість алюмінію настільки висока, що конструкції, у деяких випадках, можна використовувати без захисних покриттів. Наприклад, термін служби алюмінієвих листів товщиною 0,8 мм у атмосфері індустріальних центрів сягає 100 років, а сільській місцевості перевищує 100 років. У найбільш агресивному середовищі, прибережних смугах морів і океанів термін служби таких аркушів до теперішнього часу визначався рівним 50 рокам, але останні дослідження показують, що він може бути значно збільшений. Застосування тонкостінних конструкцій з алюмінію стає найбільш вигідним, зважаючи на великі матеріальні і трудовитрати на антикорозійну обробку аналогічних конструкцій виконаних зі сталі.

Архітектурна виразність алюмінієвих конструкцій – це якість, яку неможливо виразити кількісно. Значення цього чинника підтверджується практикою: алюмінієві конструкції застосовують у першу чергу в елементах, що несуть найбільше архітектурне навантаження. Естетичний вплив алюмінієвих конструкцій складається з двох факторів: форми, в якій конструктивна доцільність органічно поєднується з архітектурною художньою логікою, та якості поверхні. За різноманітністю характеру поверхні алюмінієві конструкції не мають собі рівних серед інших будівельних конструкційних матеріалів:

- алюмінієві конструкції не потребують додаткової обробки;
- поверхонь виробів з алюмінію шляхом пластичної деформації надають певну фактуру;
- декоративні литі панелі залишають без додаткової обробки, розглядаючи грубу поверхню таких панелей, що покривається з часом природною патиною, як своєрідний художній прийом;

- застосовують лакофарбові покриття або лакування полімерними плівками конструкцій, що встановлюються в інтер'єрі або на фасадах будівель;
- анодне покриття конструкцій з алюмінію створює на поверхні прозору або кольорову плівку, що зберігає специфічний «металевий» вид конструкції.

Відносно невисока щільність алюмінію в поєднанні з порівняно високими характеристиками міцності і технологічністю виробництва дають можливість отримати конструкції з істотно меншою масою, ніж сталеві.

Крім очевидних переваг, є й недоліки:

- вартість алюмінієвих конструкцій у кілька разів вища за сталеві;
- модуль пружності алюмінієвих сплавів приблизно в 3 рази нижчий, ніж у сталі;
- коефіцієнт лінійного розширення майже вдвічі більший, ніж у сталі, що призводить до необхідності частого влаштування температурних швів;
- високі тепло та електропровідність;
- у місцях контакту алюмінієвих сплавів з іншими матеріалами виникає електрохімічна корозія, що призводить до необхідності ізолювання поверхонь алюмінієвих конструкцій за допомогою фарбування або застосування прокладок.

Основним недоліком залишається порівняно висока ціна, проте тенденція до вдосконалення методів виробництва сировини дає підстави для припущення про подальше зниження ціни. Вже сьогодні алюміній дорожчий за просту вуглецеву сталь, але дешевшу за нержавіючу.

1.5. Конструкції світлопрозорих покриттів та огляд основних виробників систем із алюмінієвих профілів

На сьогоднішній день алюмінієві конструкції використовуються для вирішення широкого спектру завдань у будівництві. Особливо вигідно його застосування в конструкціях, що поєднують функції, що захищають і несуть.

Все частіше в конструкціях сучасних будівель можна зустріти світлопрозорі покриття різної конфігурації. Такі архітектурні елементи

називають – зенітними (світловими) ліхтарями.

Зенітний ліхтар є світлопрозорою конструкцією, розташованою на покрівлі будівлі, призначену для природного освітлення приміщень. Конфігурації зенітних ліхтарів можуть бути різними: бані, циліндричні оболонки, піраміди, односхилі, двосхилі. Вибір конфігурації залежить в першу чергу від архітектурного стилю будівлі, але також важливо враховувати найбільш підходящу конструктивну схему, залежно від розмірів конструкції і навантажень, що діють на неї, і впливів. Основним призначенням зенітних ліхтарів є пропускання сонячного світла у приміщення. Так, завдяки своєму розташуванню вони пропускають до 50% більше світла, ніж вікна і вітражі, розташовані вертикально.

В даний час застосування зенітних ліхтарів поширене досить широко: виробничі приміщення, адміністративні та торгові будівлі, будинки банків, бібліотек, розважальних центрів. Також їх широко застосовують і в житловому будівництві, особливо при будівництві індивідуальних замських будинків.

Зенітні ліхтарі з алюмінієвих профільних систем застосовують двох типів за принциповою конструктивною схемою:

- - самонесуча конструкція (алюмінієвий профіль сприймає всі діючі навантаження) (Рис. 1.2);
- - накладна конструкція (алюмінієва профільна система монтується на металевий каркас, що несе, що сприймає всі навантаження) (Рис. 1.3).

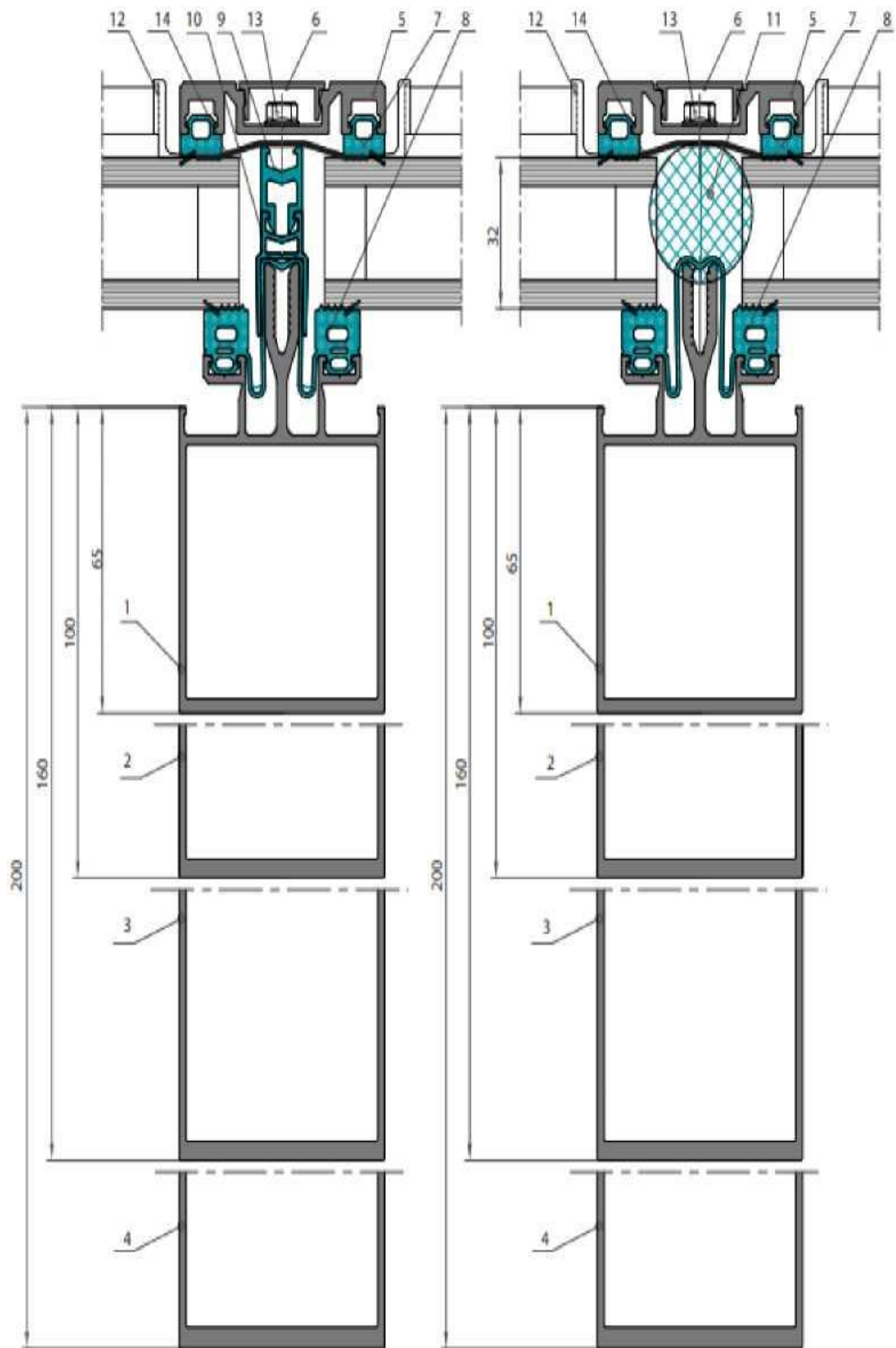


Рисунок 1.2 - Варіант самонесучого виконання конструкції зенітного ліхтаря.

1, 2, 3, 4 – стійка; 5 - притиск; 6 – кришка; 7, 8 – ущільнювачі; 9, 10 - термівставки; 11 - утеплювач із спіненого поліетилену; 12 - заглушка притиску; 13 - елемент кріплення; 14 – гідроізоляція (стрічка бутилова).

Як заповнення найчастіше використовується склопакет, але в деяких випадках можуть також застосовуватися і сендвіч-панелі, одинарне загартоване або багат шарове скло (триплекс). До заповнення у світлопрозорих покриттях застосовуються спеціальні вимоги. Це зумовлено безпекою експлуатації. Так, під покриттям необхідно встановлювати металеву сітку з коміркою трохи більше 50x50 мм. Але таке рішення застосовується в основному для виробничих будівель, тому що має неестетичний вигляд. За відсутності сітки повинні виконуватися такі вимоги: зовнішнє скло в склопакеті виготовляється із загартованого скла, а внутрішнє - з багат шарового (триплекс). Така форма склопакета є безпечною для експлуатації. У разі руйнування, нижнє скло триплекс може тільки потріскатися, що виключає падіння великих осколків скла на людей, що знаходяться в приміщенні.

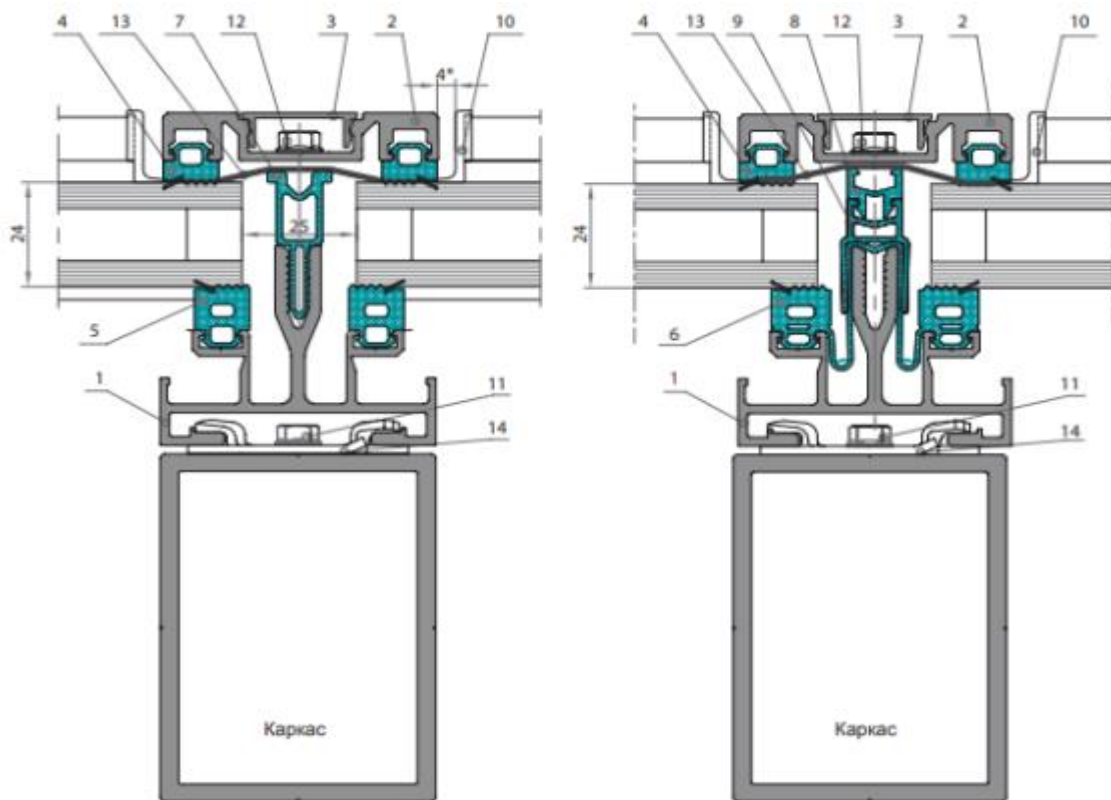


Рисунок 1.3 - Варіант накладного виконання конструкції зенітного ліхтаря.

1-стійка; 2 - притиск; 3 – кришка; 4, 5, 6 – ущільнювачі; 7, 8, 9 – термовставки; 10 - заглушка притиску; 11,12 - елементи кріплення; 13 - гідроізоляція (стрічка бутилова); 14 – скоба монтажна.

На сьогоднішній день на ринку алюмінієвих профільних систем для світлопрозорих покриттів в Україні існує досить велика кількість виробників. Ведучими з них у цій галузі є:

Система ТПСК-60500.

Серія ТПСК-60500 призначена для виготовлення світлопрозорих покриттів різної конфігурації: від односхилих і двосхилих дахів до куполів, арочних склепінь, пірамід складної конфігурації. Серія укомплектована додатковими профілями для організації внуренних кутів вальмових кровель, вершин куполів і пірамід, для вузлів примикання стійок, а також посиленням профілем заставної для ригелів і стійок другого рівня, що зазнають підвищених навантажень від заповнення.

У конструкціях забезпечено дворівневе відведення вологи (для води, що просочилася, для відведення конденсату). До номенклатури серії ТПСК-60500 входить суцільний ущільнювач, що підвищує ізоляційні властивості.

Ширина лицьової поверхні профілів 60мм, момент інерції стійок від 7,94 до 1137,8 см⁴, ригелів від 7,6 до 82,1 см⁴.

Заповнення, що використовується:

- скло від 4 мм та склопакети до 48 мм;
- полікарбонат.

Конструкції світлопрозорих дахів ТПСК-60500 можуть бути самонесучими або на металевому каркасі. У серію вбудовуються вентиляційні люки ТПСК-60500 для вирівнювання тиску зовні та всередині приміщення, забезпечення вентиляції та димовидалення.

Можливі наступні варіанти відкривання:

- ручне;
- напівавтоматичне (фрамужні прилади);
- автоматичне (електропривід).

У люку ТПСК-60500 використовується трикамерний профіль з поліамідним термомостом і трьома контурами ущільнення.

Система ALT SKL50 компанії ALUTECH.

Система ALT SKL50 призначена для виготовлення похилих

світлопрозорих покриттів zenітних ліхтарів, куполів та інших просторових конструкцій. Каркасом несучої конструкції є похилі чи вертикальні (стійки) і горизонтальні (ригелі) з видимою шириною 50 мм. Залежно від пристрою об'єкта і навантажень, що впливають на огорожувальну конструкцію, проектувальник має можливість вибрати необхідні несучі елементи. Для цього в серії ALT SKL50 передбачений широкий набір стійок та ригелів. Крім того, при особливо високих навантаженнях всі стійки та ригелі можна посилювати. У серії використовуються профілі, що підсилюють системи ALT F50.

Компенсація горизонтальних вимірювань розмірів елементів конструкції під впливом коливання температури здійснюється шляхом спеціальної обробки ригеля. Для отримання необхідних теплофізичних і звукоізоляційних властивостей огорожувальної конструкції використовується набір прокладок ущільнювачів на основі етиленпропіленових каучуків (EPDM) і ущільнювачів фальця склопакета зі спінених матеріалів.

У системі реалізовано можливість встановлення заповнень від 34 до 56 мм., при використанні дистанційних вставок можливе встановлення заповнень від 6 мм. Всі елементи кріплення повинні бути виготовлені з нержавіючої сталі (клас не нижче А2), що виключає процес корозії і забезпечує тривалий час експлуатації світлопрозорих конструкцій без втрати параметрів міцності. У конструкціях серії SKL50 застосовується ущільнювач FRK117 (при необхідності з додатковими ущільнювачами FRK118 та FRK119), який встановлюється на всю довжину профілів стійок і дозволяє організовувати збирання та відведення вологи з усієї конструкції (забезпечує відведення вологи з місць зламу стійки). Поворот/злам конструкції може бути реалізований за допомогою відгину полиць під ущільнювач на профілях стійок (відгин від 00 до 450 на одній полиці) та відгину полиць під ущільнювач на профілях ригелів (від 00 до 150 на одній полиці). Для реалізації відгину полиць під ущільнювач використовується згинальна машина BMSKL50.

Система AGS500 компанії.

Система архітектурно-будівельних профілів AGS 500 призначена для виготовлення навісних стінових огорож будівель, зимових садів, ліхтарів, похилих світлопрозорих покриттів та інших конструкцій. Основу системи «AGS 500» складають алюмінієві профілі стійок і ригелів з видимою шириною 50 мм, що з'єднуються між собою методом установки ригеля в паз стійки, так і методом простого накладання ригеля на стійку. Вибір стійок і ригелів може здійснюватися проектувальником залежно від конструктивних особливостей об'єкта і навантажень, що впливають на нього, виходячи зі значень моментів інерції профілів, наведених у каталозі «AGS 500». При великих значеннях навантажень стійки можуть бути посилені спеціальними профілями, що встановлюються всередину стійок.

Система RF50 компанії "REALIT".

Стійково-ригельний фасад RF 50. Серія призначена для виготовлення легких навісних стінових огорож будівель, а також для виготовлення похилих світлопрозорих покриттів, ліхтарів, зимових садів та інших просторових конструкцій. До складу несучої конструкції входять вертикальні (стійки) і горизонтальні (ригелі) елементи з видимою шириною 50 мм, які з'єднуються між собою методом накладання ригеля на стійку. Залежно від конструкції об'єкта і навантажень, що впливають на огорожувальну конструкцію, проектувальник має можливість вибрати необхідні несучі елементи, для цього в класичній серії алюмінієвих профілів RF 50 передбачений широкий набір стійок з моментами інерції від 40 до 2172 см⁴. При особливо високих навантаженнях всі стійки можна посилювати спеціальними профілями, що вставляються всередину конструкції стояків. Великий набір ригельних профілів дозволяє, за потреби, встановлювати ригель однакового зі стійкою розміру. У серії алюмінієвих профілів RF 50 є набір монтажних стійок, які дозволяють монтувати конструкцію, що захищає, за допомогою попередньо зібраних елементів. Це значно скорочує час монтажу конструкції. Використання монтажних стійок дозволяє також компенсувати горизонтальні зміни розмірів елементів конструкції під впливом коливання температури.

Використання наявних термовставок і прокладок ущільнювачів дозволяє встановлювати скло або склопакети товщиною від 4 до 50 мм.

Всі елементи кріплення виготовлені з нержавіючої сталі, що виключає процес корозії, отже, світлопрозорі конструкції будівель на основі стійково-ригельної серії алюмінієвих профілів RF 50 можуть служити тривалий час без втрати своїх параметрів міцності. У конструкцію фасаду, виконаного із серії RF 50, можуть бути встановлені вікна та двері будь-якого типу відкриття.

Система КП60 компанії «СІАЛ».

Система КП-60 має видиму ширину профіля 60 мм. Спеціальні монтажні анкери дозволяють вести монтаж по металевому або дерев'яному каркасу. При використанні посилених комбінованих стійок каркас не потрібний. Конструктивною особливістю системи є дворівневе відведення вологи. Під правильні піраміди розроблено спеціальний профіль.

Система ALF-50 компанії.

Фасадна серія ALF-50 має ширину лицьової поверхні профілів 50 мм. Висота перерізу стійок від 84 до 180 мм, ригелів від 7 до 153 мм. Заповнення, що використовується, товщиною від 4 до 48 мм. Алюмінієві профілі виготовляються методом гарячого пресування з алюмінієвого сплаву 6063. Даний сплав стійкий до корозії і дозволяє виготовляти профілі високої точності. Профілі, з яких виготовляються елементи фасаду, можуть бути анодовані або забарвлені порошковими фарбами кольору відповідно до шкали RAL. На основі фасадної серії ALF-50 виготовляються такі конструкції: стійково-ригельна система; ригель-ригельна система. Фасадна серія ALF-50 дозволяє виготовляти конструкції з поворотом ригеля у горизонтальній та вертикальній площинах на різні кути, а також конструкції геометрично складних просторових форм відповідно до ДБН В.2.6-165:2011 "Алюмінієві конструкції. Основні положення".

1.6. Теоретична та нормативна база з розрахунку будівельних алюмінієвих конструкцій.

Будівельні конструкції з алюмінієвих сплавів розраховують на силові дії за методом граничних станів, при яких конструкція або будівля (споруда) перестають задовольняти заданим експлуатаційним вимогам та вимогам у процесі будівництва. До силових впливів відносять як безпосередні навантаження і впливу, так і зусилля, що виникають від зміщення опор, температурних перепадів, усадкових деформацій, нерівномірної опади та інших явищ, що викликають реактивні сили.

Граничні стани поділяють на дві групи: - за втратою несучої здатності чи непридатності до експлуатації; - по непридатності до нормальної експлуатації, що здійснюється без обмежень відповідно до технологічних або побутових умов, передбачених чинними нормативами або завданнями на проектування.

До граничних станів першої групи відносять:

- загальну втрату стійкості форми;
- втрату стійкості положення;
- тендітне, в'язке, втомне або іншого характеру руйнування;
- руйнування під спільним впливом силових чинників у несприятливого впливу середовищі;
- якісне зміна конфігурації;
- резонансні коливання;
- стани, при яких необхідно припинити експлуатацію в результаті плинності матеріалу, зрушень у поєднанні, повзучості або надмірного розкриття стиків.

До граничних станів другої групи відносяться стани, що ускладнюють нормальну експлуатацію конструкцій, а також знижують їх довговічність внаслідок виникнення неприпустимих переміщень (прогинів, кутів повороту, осад), коливань, розкриття стиків.

Крім розрахунків на силові впливи, у необхідних випадках мають бути виконані інші розрахунки (наприклад, теплотехнічні, гідравлічні, фільтраційні

та ін.), передбачені відповідними нормативами на проектування.

Метод розрахунку конструкцій на силові впливи за межовими станами має на меті не допускати настання граничних станів при експлуатації протягом всього терміну служби конструкції, а також при її зведенні. Забезпеченість від настання перелічених вище граничних станів повинна відповідати різного ступеня їхньої небезпеки. Вимоги норм розрахунку полягають у тому, щоб величини зусиль, напруг, деформацій, переміщень не перевищували граничних значень, що встановлюються нормами проектування конструкції. На сьогоднішній день основними нормативними документами щодо розрахунку та проектування світлопрозорих конструкцій покриттів з каркасом з алюмінієвих профілів є:

- ДБН В.2.6-165:2011 "Алюмінієві конструкції. Основні положення";
- ДБН В.2.6-220:2017 "Покриття будівель і споруд".

Надійність конструкцій забезпечується розрахунком, який враховує можливі несприятливі характеристики матеріалів, невігідні можливі значення та поєднання навантажень та впливів, а також умови експлуатації та особливості роботи конструкції. При цьому в розрахунках мають бути дотримані всі вимоги нормативних документів, державних стандартів та технічних умов, які пред'являються до якості матеріалів та виробів, виробництва робіт та експлуатації будівель.

За даними досліджень, для алюмінієвих конструкцій, що використовуються як огорожувальні, настання граничного стану другої групи відбувається, в більшості випадків, раніше вичерпання несучої здатності за граничним станом першої групи, тому підбір необхідних перерізів рекомендується проводити по другій групі граничних станів, з наступною перевіркою по першій групі.

1.7 Висновки по розділу

На сьогоднішній день існує велика кількість організацій, що займаються проектуванням, виготовленням та монтажем світлопрозорих конструкцій.

Застосовувані методики розрахунку різних організаціях мають незначні відмінності. Стійково-ригельні системи розраховують по першій і другій групах граничних станів, підбираючи відповідні перерізи стійок і ригелів. В силу відсутності єдиної методики розрахунку, а також при байдужому відношенні погоджуючих інстанцій до поданої проектної документації, нерідкі випадки допущення помилок. З конструкціями покриттів (зенітних ліхтарів), особливо мають складну просторову геометрію, практично, ситуація ще гостріше: найчастіше, проводиться плоский розрахунок конструкцій, не враховуючи просторової геометрії конструкції. У таких конструкціях найбільш важливо приділяти увагу розрахунку та конструювання вузлів. Ця недбалість у проектуванні пов'язана, насамперед, з обмеженими термінами на проектування - конкуренти заявляють менші терміни на проектування, через використання спрощених методів розрахунку. Інша причина полягає в тому, що часом у деяких організаціях подібними розрахунками займаються навіть некваліфікований персонал, нездатний проводити просторовий розрахунок конструкцій. Також існують інші причини, що викликають припущення помилок у розрахунках, наприклад необґрунтоване заниження коефіцієнтів щодо діючих на конструкцію вітрових і снігових навантажень, щоб одержати в такий спосіб здешевлення вартості конструкції.

Розглянуті помилки, припущення та спрощення розрахункових схем у різних випадках призводить або до необґрунтовано великого запасу міцності, або навпаки, у деяких випадках, недостатньою міцністю та жорсткістю конструкції. Досить часто при проектуванні зенітних ліхтарів необґрунтовано застосовують накладну профільну систему на сталевому каркасі, що призводить до значного подорожчання та втрати естетичності конструкції. Найгіршим варіантом, звичайно, є навмисне заниження діючих навантажень з метою здешевлення конструкції, яке нерідко може призвести до аварійних ситуацій - руйнування склопакетів, неприпустимі деформації конструкції.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО РОЗРАХОВУЮТЬСЯ, І ЗБІР ДІЮЧИХ НА НИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1. Коротка характеристика об'єкта.

Для розрахунку та аналізу конструктивних схем світлопрозорих покриттів прийнято такі характеристики об'єкта: Об'єкт будівництва – торгово-виставковий комплекс загальною площею 4300 м², розташований у м. Дніпро. Висота розташування конструкцій, що розраховуються, становить 20 м. від рівня землі. Тип місцевості С-міські райони із щільною забудовою будинками висотою понад 25 м. Сніговий район – 2. Нормативне значення ваги снігового покриву $S_g=2,25$ кН/м². Вітровий район – II. Нормативне значення вітрового тиску $w_0=0,3$ кПа (Таблиця 11.1 СП 20.13330.2016). Клас споруди – КС-2. Рівень відповідальності – «нормальний». Значення коефіцієнта надійності за призначенням $Y_{fn} = 1$.

2.2. Двосхилий світлопрозоре покриття.

Одним із поширених видів конструктивних рішень світлопрозорих покриттів є двосхилі зенітні ліхтарі. Основною перевагою такої конструкції є простота виготовлення та монтажу, т.к. основним несучим елементом є рама, що складається з двох похилих стійок.

До розрахунку прийнято двосхилий конструктивну схему стійково-ригельної алюмінієвої системи ТПСК-60500. Загальний вигляд каркасу конструкції представлений на рис. 2.1. Крок рам прийнятий рівним 1200 мм., Виходячи з найбільшого поширення в таких конструкціях. На схемі зазначена ширина смуги збору навантажень - b , кут нахилу α (є змінною величиною) і величина розрахункового прольоту рами - L . Кількість рам показано умовно, т.к. не впливає результати розрахунків.

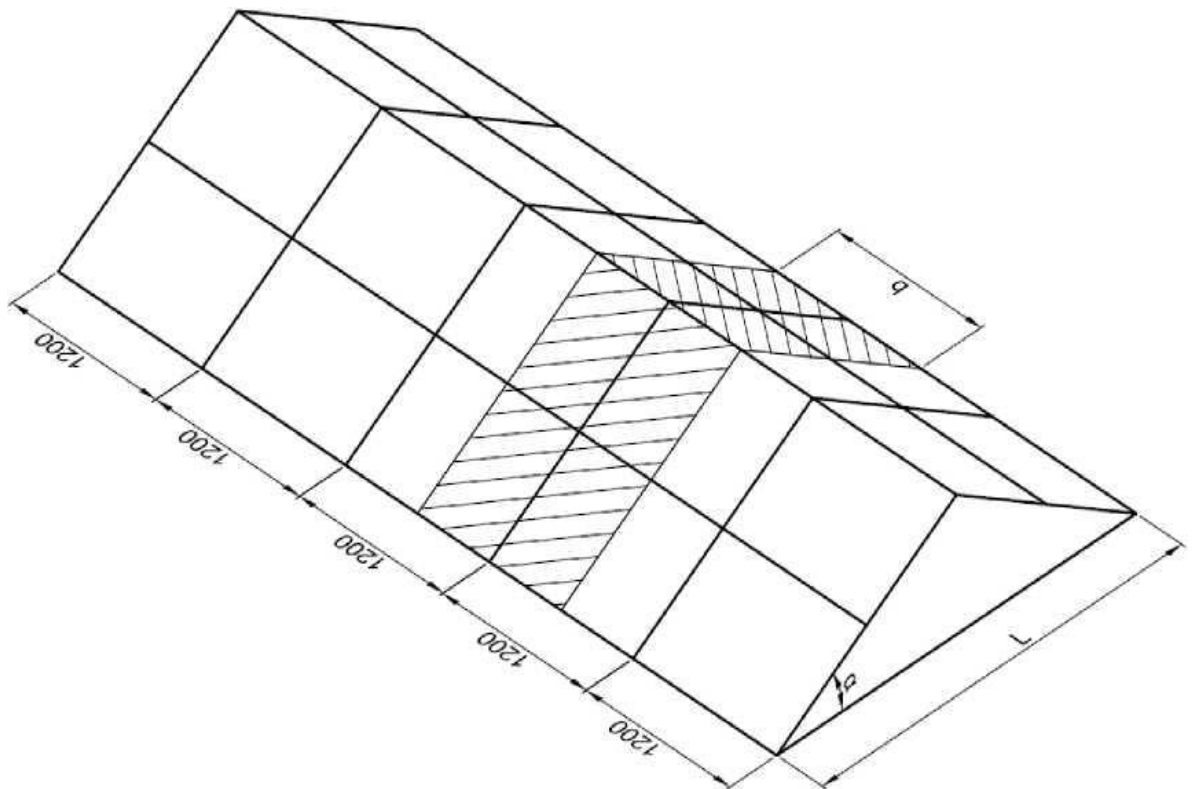


Рисунок 2.1 - Загальний вигляд стояково-ригельного каркаса двосхилим покриттям.

Збору діючих навантажень і виконання розрахунку елементів каркасу передуює побудова розрахункової схеми, що виконується за геометричними осями стрижнів, що проходять через тяжкі центри перерізів елементів. Загальноприйнятою розрахунковою схемою при розрахунку подібних конструкцій є три-шарнірна рама з двома шарнірно-нерухомими опорами в основі та шарнірним з'єднанням балкових елементів у ковзані (Рис. 2.2).

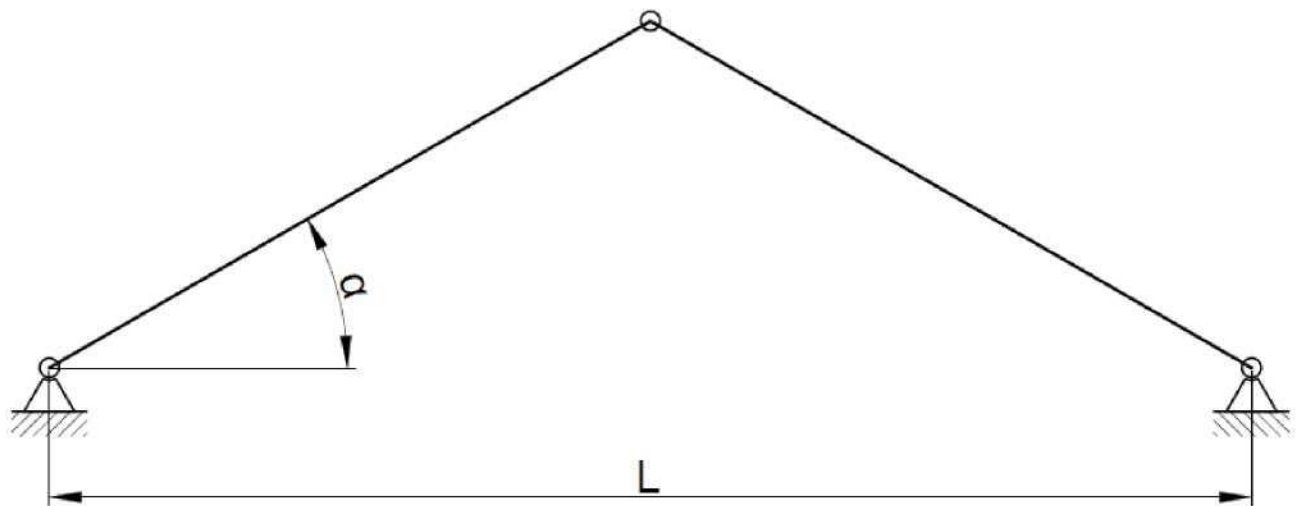


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема двосхилого покриття

Збір навантажень.

Снігове навантаження:

Нормативне значення снігового навантаження на покриття з кутом нахилу : $\alpha=30^\circ S_0 = c_B * c_T * \mu * S_g = 1 * 1 * 1 * 2,25 = 2,25 \text{ кН/м}^2$,

де: c_B - коефіцієнт враховує знос снігу з покриттів будівель під впливом вітру чи інших чинників; c

c_T – термічний коефіцієнт;

μ - коефіцієнт форми, що враховує перехід від ваги снігового покриву землі до снігового навантаження на покриття;

S_g - нормативне значення ваги снігового покриву на 1 м^2 горизонтальної поверхні землі.

При зміні кута α , снігове навантаження буде змінюватися пропорційно до зміни коефіцієнта μ (Табл. 2.1)

Таблиця 2.1 - Значення снігового навантаження, залежно від кута нахилу α .

$\alpha, \text{о}$	μ	$S_0, \text{кН/м}^2$	Y_{fn}	$S_{роз}, \text{кН/м}^2$
30	1	2,25	1,4	3,15
35	0,84	1,89	1,4	2,65
40	0,67	1,5	1,4	2,1
45	0,5	1,125	1,4	1,575

Вітрове навантаження:

Нормативне значення вітрового навантаження w визначається як сума середньої w_m і пульсаційної w_g складової тиску вітру:

$$W = W_m + W_g = W_0 k(z_B) * c + W_0 k(z_B) * c * \xi(z_B) * v = 0,3 * 0,55 * 0,7 + 0,3 * 0,55 * 0,7 * 1,5 * 1 = 0,289 \text{ кПа}$$

де: w_0 – нормативне значення вітрового тиску;

$k(z_B)$ - коефіцієнт, що враховує зміну тиску вітру від висоти z_B ;

c - аеродинамічний коефіцієнт;

$\xi(z_B)$ - коефіцієнт пульсації тиску вітру;

v – коефіцієнт просторової кореляції пульсації тиску вітру.

Розрахункове значення вітрового навантаження:

$$w_{роз} = w_{fn}^* = 0,289 * 1,4 = 0,4 \text{ кПа.}$$

2.3. Арочне склепіння

Досить часто застосовуються покриття у вигляді арочних склепінь. Така форма покриття надає витонченого вигляду будівлі, і нарівні з двосхилими покриттями може перекивати витягнуті по довжині, прямокутної форми в плані отвори. Перевагою такої конструктивної схеми покриття є його форма, що дозволяє знизити діючу снігове навантаження, яка в більшості випадків є превалюючою. Загальний вигляд конструкції показано на рис. 2.3. При проектуванні аркових покриттів найбільш вигідним співвідношенням стріли підйому до прольоту $f/L = 1/3$. При цьому кут нахилу біля основи покриття складає 60° .

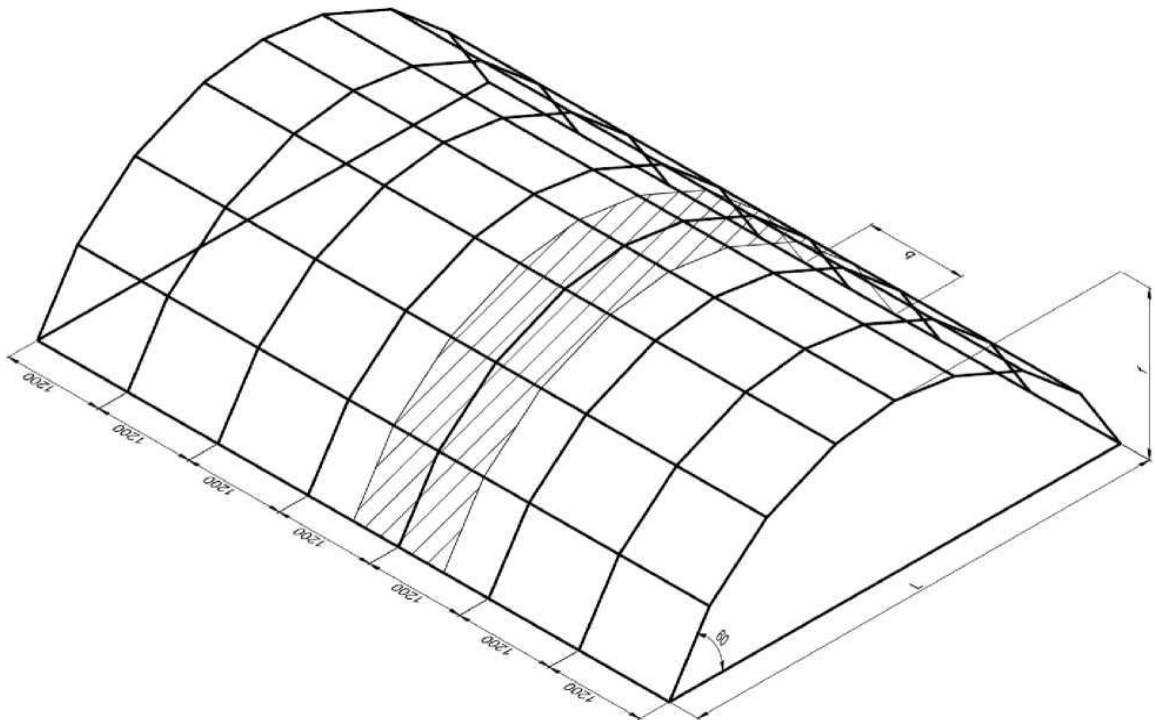


Рисунок 2.3 - Загальний вигляд стоячно-ригельного каркасу аркового покриття.

Утворення аркового покриття в стійково-ригельній системі передбачається розбиттям рами на окремі сегменти, що з'єднуються один з одним через спеціальні заставні елементи, які попередньо нарізуються під необхідний кут і з'єднуються між собою шурупами або зварюванням.

Кріплення стійок до заставної виконується саморізами або болтами із застосуванням алюмінієвих втулок (Рис. 2.4).

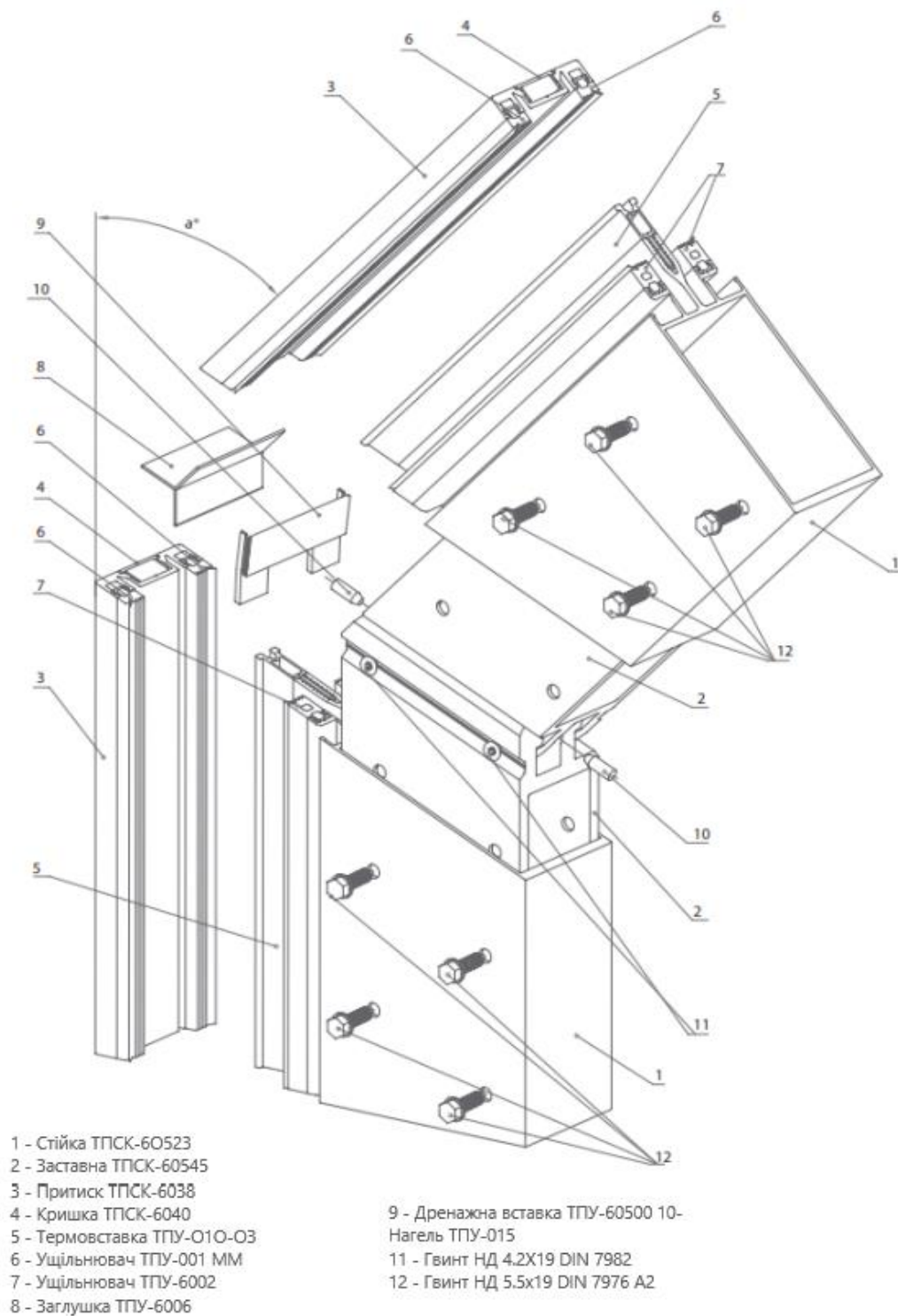


Рисунок 2.4 - Вузол з'єднання стійок під довільним кутом.

Використання закладних у з'єднаннях передбачає роботу вузла як жорстке з'єднання, що обмежує переміщення та повороти стояків відносно один одного у всіх напрямках. З огляду на це – розрахункова схема при аналітичному розрахунку матиме вигляд рами на двох шарнірно-нерухомих опорах (Рис. 2.5). При цьому, залежно від навантажень, що діють, при проектуванні перевіряються з'єднання стійок на міцність і підбирається необхідна кількість і тип кріпильних елементів у вузлі.

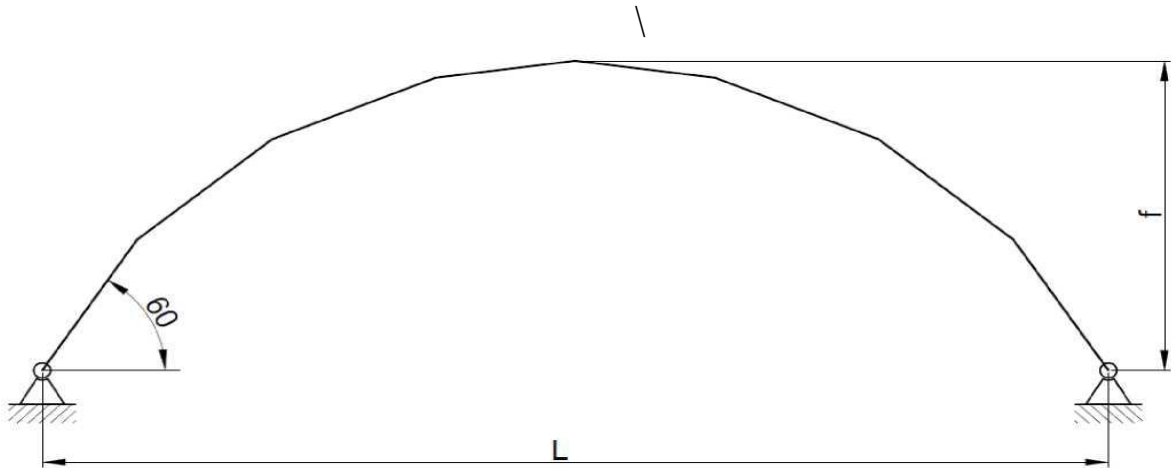


Рисунок 2.5 - Розрахункова схема аркового покриття

Збір навантажень.

Снігове навантаження:

Нормативне значення снігового навантаження на аркове покриття з кутом нахилу біля основи $\alpha=30^\circ$:

$$S_0 = c_v * c_T * \mu * S_g$$

Розподіл снігового навантаження за аروحним покриттям змінюється залежно від кута нахилу сегмента (Рис. 2.6) і визначається коефіцієнтом μ ($\mu_i = \cos(1,5\alpha)$). Обчислені значення снігового навантаження наведено в Табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Значення снігового навантаження у розрахункових точках покриття

Точка	μ	$S_0, \text{кН/м}^2$	Y_{fn}	$S_{роз}, \text{кН/м}^2$
-------	-------	----------------------	----------	--------------------------

A	0	0	-	-
B	0	0	-	-
C	0,5	1,125	1,4	1,575
D	0,824	1,854	1,4	2,6
E	0,978	2,2	1,4	3,08

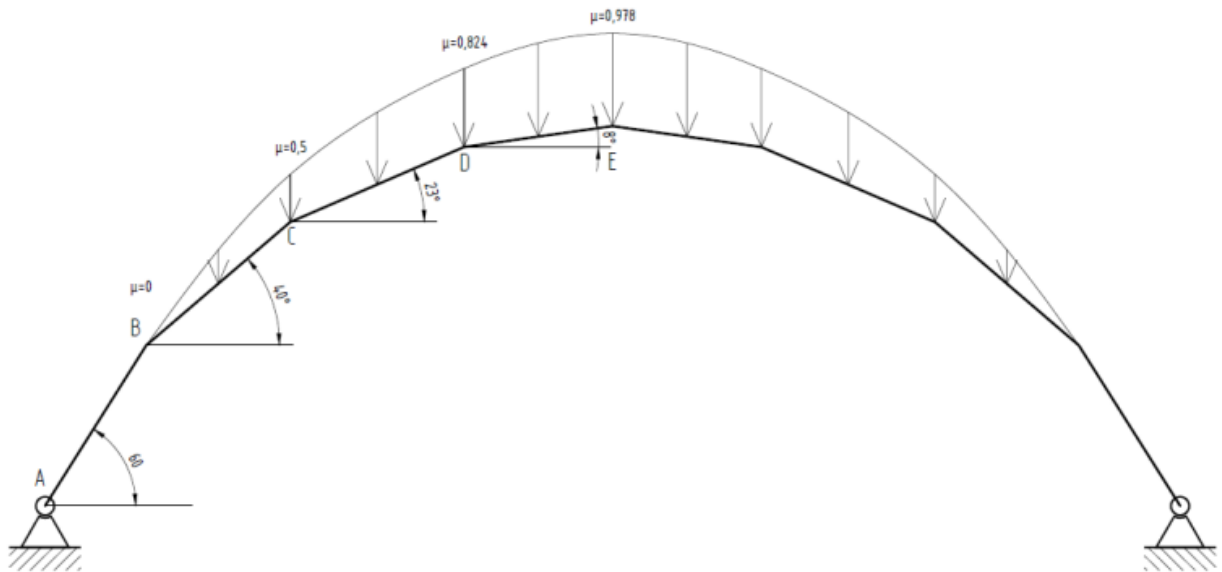


Рисунок 2.6 - Розподіл снігового навантаження на покриття

Вітрове навантаження:

Нормативне значення вітрового навантаження w визначається як сума середньої w_m і пульсаційної w_g складової тиску вітру:

$$W = W_m + W_g = W_0 k(z_B) * c + W_0 k(z_B) * c * \xi(z_B) * v = 0,3 * c_{e1} * 0,7 + 0,3 * 0,55 * c_{e1} * 1,5 * 1$$

1

Аеродинамічний коефіцієнт c_e для склепінних покриттів визначається залежно від відношення f/L (Рис. 2.7). При відношенні $f/L = 2/6 = 0,33$ значення аеродинамічного коефіцієнта становлять:

$$c_{e1} = 0,5; c_{e2} = -1,05; c_{e3} = 0,4.$$

Обчислені значення нормативного та розрахункового значення вітрового навантаження для різних ділянок покриття наведено в Табл. 2.3

Таблиця 2.3 - Значення вітрового навантаження для ділянок покриття.

Ділянка покриття	c_{ei}	w , кПа	Y_f	$W_{роз}$, кПа
1	0,5	0,206	1,4	0,289
2	-1,05	0,433	1,4	0,606
3	-0,4	0,165	1,4	0,231

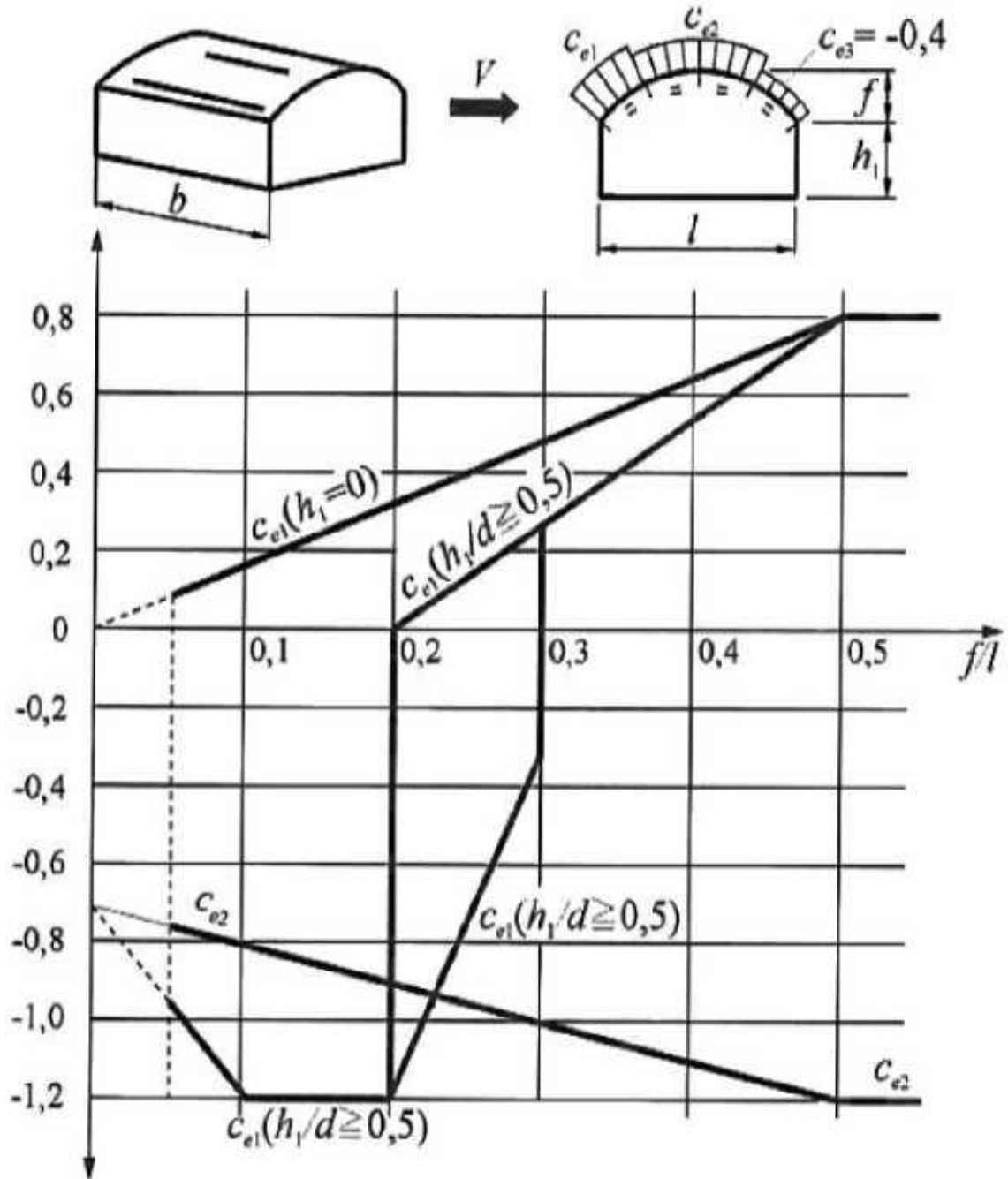


Рисунок 2.7 - Розподіл вітрового навантаження з покриття

2.4. Конструктивна схема "Піраміда"

Для перекриття квадратних у плані точкових прорізів можуть застосовуватися світлопрозорі покриття, що мають форму піраміди. Стійково-ригельний каркас таких покриттів має деякі конструктивні особливості. Для забезпечення надійного відведення вологи застосовується система із двома рівнями ригелів. З'єднання стійок, що сходяться до вершини, виконується за допомогою сформованого з 2 профілів ТПСК-60548 круглого елемента. Всі з'єднання є болтовими (Рис 2.8).

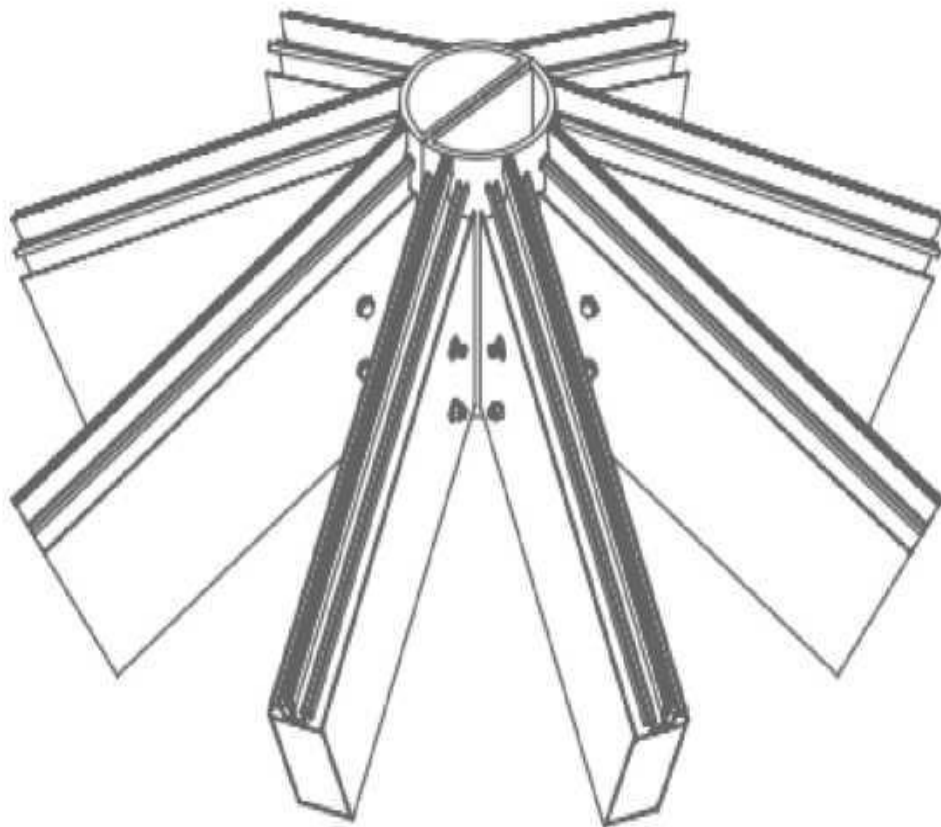


Рисунок 2.8 - Вузол з'єднання групи стійок.

Також особливістю такої конструктивної схеми є те, що основне навантаження сприймають стійки розташовані по ребрах піраміди. У деяких випадках можливе застосування додаткових стійок, що встановлюються центрами граней піраміди. Конструктивно можливе з'єднання до восьми стояків у вершині.

У цій роботі розглянуто конструктивну схему покриття у вигляді піраміди з основою 6 метрів і кутом нахилу граней 30°. Загальний вигляд конструкції представлений на рис. 2.9.

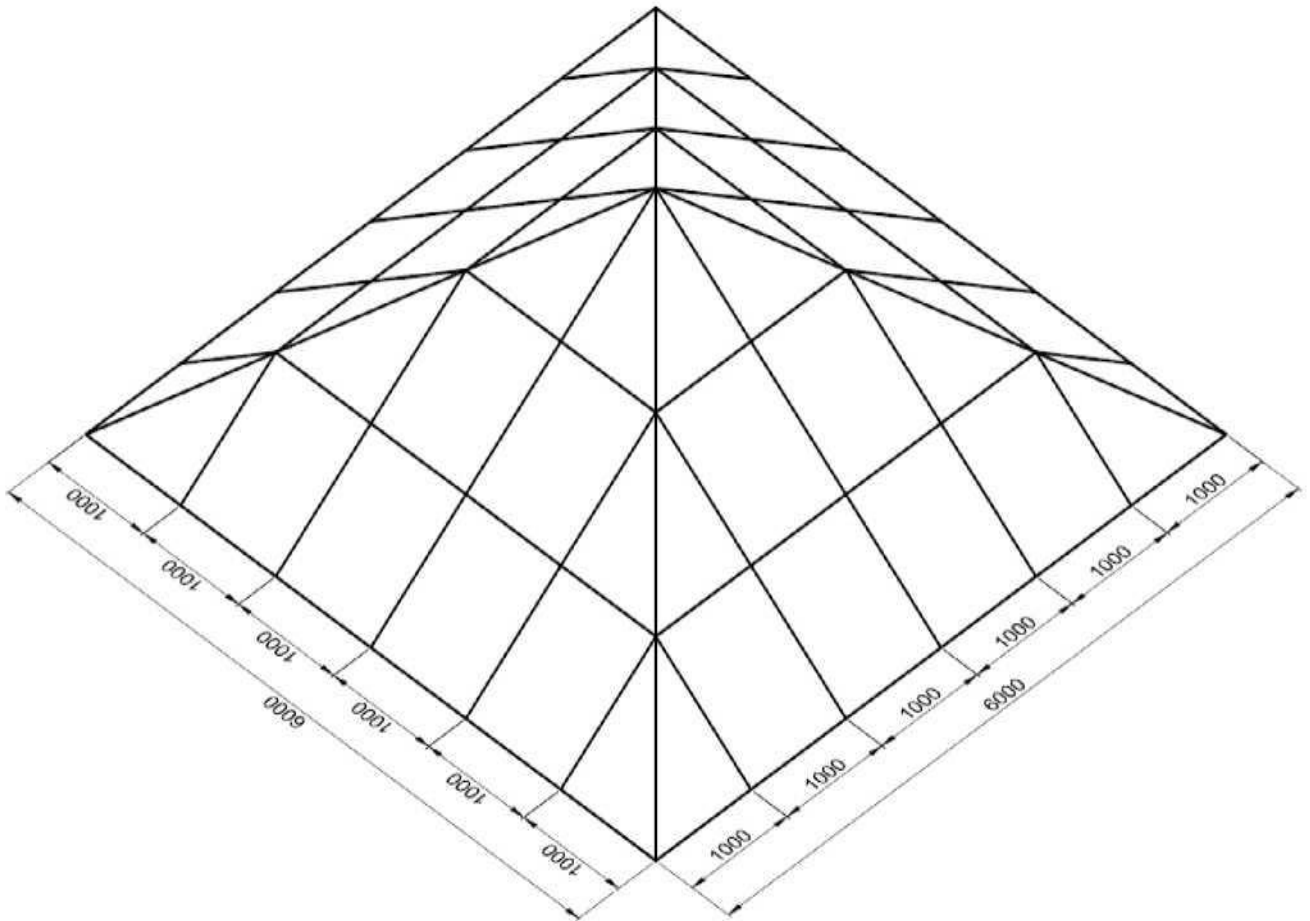


Рисунок 2.9 - Загальний вигляд стійко-ригельного каркасу покриття Піраміда

Збір навантажень.

Діючі снігові та вітрові навантаження на покриття у формі піраміди аналогічні двосхилим покриттям. Визначено навантаження для покриття з кутом нахилу 30 °.

Снігове навантаження:

Нормативне значення снігового навантаження покриття з кутом нахилу $\alpha=30^\circ$:

$$S_o = c_v * c_T * \mu * S_g = 1 * 1 * 1 * 2,25 = 2,25 \text{ кН/м}^2$$

Нормативное значение снеговой нагрузки на покрытие с углом наклона $\alpha=30^\circ$

$$S_{роз} = S_o * Y_{fr} = 2,25 * 1,4 = 3,15 \text{ кН/м}^2$$

Вітрове навантаження:

Нормативне значення вітрового навантаження w визначається як сума середньої w_m і пульсаційної w_g складової тиску вітру:

$$W = W_m + W_g = W_0 k(z_B) * c + W_0 k(z_B) * c * \xi(z_B) * v = 0,3 * 0,55 * 0,7 + 0,3 * 0,55 * 0,7 * 1,5 * 1 = 0,289 \text{ кПа}$$

Розрахункове значення вітрового навантаження:

$$W_{роз} = w * Y_{fn} = 0,289 * 1,4 = 0,4 \text{ кПа.}$$

2.5. Світлопрозоре заповнення

Для світлопрозорих покриттів опалювальних будівель як заповнення застосовуються склопакети клеєні за ДСТУ EN 1279-1:2022 Скло в будівлі. Склопакети. Частина 1. Загальні відомості, опис системи, правила обміну, допуски та візуальна якість (EN 1279-1:2018, IDT). Так, зовнішнє скло у складі склопакета необхідно виготовляти із загартованого скла, а внутрішнє із багатошарового скла «триплекс». Це обумовлено безпекою експлуатації конструкції.

Вага заповнення в самонесучих світлопрозорих конструкціях на основі алюмінієвих профільних систем становить більшу частину (близько 90-95%, залежно від формули склопакета) власної ваги всієї конструкції. Середня щільність скла $\rho = 2500 \text{ кг/м}^2$. У цій роботі як заповнення розглядається склопакет товщиною 32 мм. з формулою 8зак-16-4.4.1. Вага заповнення в похилих конструкціях з кутом нахилу менше 60° розподіляється рівномірно на стійки та ригелі по площині спирання. При нахилі елемента 60° і більше навантаження від ваги заповнення передається на ригель через опорні підкладки.

Нормативне навантаження від ваги заповненого становить:

$$q_n = (\delta_1 + \delta_2) * S * \rho = (0,008 + 0,008) * 1 * 2500 = 40 \text{ кг/м}^2 = 0,3924 \text{ кН/м}^2$$

Нормативне навантаження від ваги заповненого становить:

$$q_{phjp} = q_n * Y_{fn} = 0,3924 * 1,1 = 0,432 \text{ кН/м}^2$$

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТОЯКОВО-РИГЕЛЬНОГО КАРКАСУ СВІТЛОПРОЗОРОГО ПОКРИТТЯ

3.1. Методика розрахунку за граничними станами

Алюмінієві конструкції, як і інші в будівництві розраховуються за прийнятим методом граничних станів. Граничними вважаються стани, при яких конструкція перестає задовольняти вимогам, що пред'являються до неї в процесі експлуатації, тобто. втрачає здатність чинити опір зовнішнім навантаженням і впливам або отримує неприпустимі переміщення або місцеві ушкодження.

В рамках даної роботи розроблено методику розрахунку похилих елементів каркасу світлопрозорих покриттів, яка ґрунтується на вимогах, наведених у ДБН В.1.2-2:2006 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування» та ДБН В.2.6-165:2011 "Алюмінієві конструкції. Основні положення".

Основним результатом розробленої методики розрахунку є отримання залежності максимальної довжини стійки каркаса, залежно від довжини ригелів (кроку стійок) для різних снігових районів за граничними станами першої і другої групи. За отриманими графіками проводиться попередній підбір перерізів, що дозволяє прискорити процес проектування, а потім виконується перевірка, у тому числі з використанням МКЕ.

Дана методика застосовна для розрахунку несучих алюмінієвих конструкцій каркасу світлопрозорих покриттів (група конструкцій 1).

Дана методика не застосовна для розрахунку конструкцій, схильних до динамічних або рухомих навантажень, а також конструкцій схильних до багаторазово повторюваного впливу навантажень, і за умов роботи конструкції з впливом підвищених температур (понад 100°C).

Крім плоскої задачі, так само зроблено розрахунок просторово-стрижневої моделі для перевірки підібраних перерізів

стійково-ригельного каркасу.

3.2. Розрахунок за I групою граничних станів

Розрахунок напруг у похилих елементах каркаса (стійок), що згинаються в одній з головних площин виконується за формулою:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq R_y * \gamma_c, \text{ де}$$

$$M = \frac{ql^2}{8},$$

$$q = Q * B,$$

$$Q = S_{\text{роз}} * \cos^2 \alpha + w_{\text{роз}} * \Psi + q_{\text{с.в.}}$$

$$S_{\text{роз}} = \mu * S_g * \gamma_{fn}$$

$$w_{\text{роз}} = (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn}$$

Підставивши формули визначення снігового та вітрового навантажень отримаємо:

$$Q = \mu * S_g * \gamma_{fn} * \cos^2 \alpha + (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn} * \Psi + q_{\text{с.в.}}$$

Прирівняємо значення нормальної напруги до фактичного:

$$\frac{(\mu * S_g * \gamma_{fn} * \cos^2 \alpha + (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn} * \Psi + q_{\text{с.в.}})}{8 * W} = R_y * \gamma_c$$

Перетворивши вираз, виразимо граничну довжину стійки за умовою допустимих напруг у перерізі:

$$L = \sqrt{\frac{8 * R_y * \gamma_c * W}{(\mu * S_g * \gamma_{fn} * \cos^2 \alpha + (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn} * \Psi + q_{\text{с.в.}}) * B}}$$

Формула розрахунку граничної довжини ригеля за умовою допустимої напруги в перерізі при вигині з площини скління має вигляд:

$$B = \sqrt{\frac{8 * R_y * \gamma_c * W}{(\mu * S_g * \gamma_{fn} * \cos 2\alpha + (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn} * \Psi + q_{c.v.}) * h}}$$

При цьому частина навантаження, що сприймається стійкою при розподілі вантажної площі, приймається в запас.

Розрахунок граничної довжини ригеля за умовою допустимих напруг у перерізі при згинанні у площині скління:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq R_y * \gamma_c, \text{ де}$$

$$M = \frac{F * b}{2},$$

$$F = h * B * (S_{\text{роз}} * \cos \alpha + w_{\text{роз}} * \Psi + q_{c.v.}) * \sin \alpha,$$

$$S_{\text{роз}} = \mu * S_g * \gamma_{fn}$$

$$w_{\text{роз}} = (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn}$$

Подставив формулы определения снеговой и ветровой нагрузок получим:

$$F = h * B * (\mu * S_g * \gamma_{fn} * \cos \alpha + (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn} * \Psi + q_{c.v.}) * \sin \alpha$$

Прирівняємо значення нормальної напруги до фактичного:

$$\frac{(\mu * S_g * \gamma_{fn} * \cos \alpha + (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn} * \Psi + q_{c.v.}) * \sin \alpha * h * b * B}{2 * W}$$

$$= R_y * \gamma_c$$

Формула розрахунку граничної довжини ригеля за умовою допустимих напруг у перерізі при вигині в площині скління має вигляд:

$$B = \sqrt{\frac{2W * R_y * \gamma_c}{(\mu * S_g * \gamma_{fn} * \cos 2\alpha + (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn} * \Psi + q_{c.v.}) * \sin \alpha * h * b}}$$

де: h – ширина вантажної смуги ригеля;

b - відстань від краю ригеля до центру опорної підкладки склопакета дорівнює 150 мм;

W – довжина ригеля;

L – довжина стійки;

Ψ - коефіцієнт поєднання короточасних навантажень ($\Psi = 0,9$).

3.3. Розрахунок за II групою граничних станів.

Розрахунок елементів каркаса світлопрозорого покриття виконується з умов забезпечення фактичної деформації менше допустимої:

$$f \leq f_u$$

Допустимі деформації для стійки становлять:

$$f_u = \frac{L}{200}$$

Допустимі деформації для ригеля з площини скління становлять:

$$f_u = \frac{L}{250}$$

Деформація стійки от действия нагрузок определяется по формуле:

$$f = \frac{5}{384} * \frac{q * L^4}{E * J}$$

Прирівнявши значення гранично допустимої деформації до розрахункової отримаємо вираз:

$$\frac{L}{200} = \frac{5}{384} * \frac{q * L^4}{E * J}$$

Перетворений вираз визначення максимальної довжини стійки з умови допустимої деформації має вид:

$$L^3 = \frac{1000}{384} * \frac{E * J}{q}$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{1000}{384} * \frac{E * J}{q}}$$

$$q = Q * B,$$

$$Q = S_H * \cos^2 \alpha + w_{\text{роз}} * \Psi + q_{\text{с.в.}}$$

$$S_H = \mu * S_g * \gamma_{fn}$$

$$w_H = (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn}$$

Підставивши формули визначення снігового та вітрового навантажень отримаємо:

$$Q = \mu * S_g * \gamma_{fn} * \cos^2 \alpha + (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn} * \Psi + q_{\text{с.в.}}$$

Підставивши значення Q у вихідну формулу отримаємо вираз:

$$L = \sqrt[3]{\frac{384 * E * J}{(\mu * S_g * \gamma_{fn} * \cos^2 \alpha + (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn} * \Psi + q_{\text{с.в.}}) * B}}$$

Визначення довжини ригеля з умови допустимих деформацій із площини скління виконується за формулою:

$$B = \sqrt[3]{\frac{384 * E * J}{(\mu * S_g * \gamma_{fn} * \cos^2 \alpha + (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn} * \Psi + q_{\text{с.в.}}) * 1250 * h}}$$

При цьому частина навантаження, що сприймається стійкою при розподілі вантажної площі, приймається в запас.

Розрахунок деформації ригеля у площині скління виконується за такою формулою:

$$f = \frac{1}{48} * \frac{F * b * (3B^2 - 4b^2)}{E * J}$$

Прирівнявши значення гранично допустимої деформації до

розрахункової отримаємо вираз:

$$\frac{B}{200} = \frac{1}{48} * \frac{F * b * (3B^2 - 4b^2)}{E * J}$$

$$F = h * B * (S_{\text{роз}} * \cos\alpha + w_{\text{роз}} * \Psi + q_{\text{с.в.}}) * \sin\alpha,$$

$$S_{\text{роз}} = \mu * S_g * \gamma_{fn}$$

$$w_{\text{роз}} = (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn}$$

Подставив формулы определения снеговой и ветровой нагрузок получим:

$$F = h * B * (\mu * S_g * \gamma_{fn} * \cos\alpha + (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn} * \Psi + q_{\text{с.в.}}) * \sin\alpha$$

Підставивши значення F у вихідну формулу і перетворивши його отримаємо вираз визначення максимального кроку ригелів з умови допустимих деформацій в площині скління:

$$h = \frac{48 * E * J * f_u}{B * (\mu * S_g * \gamma_{fn} * \cos 2\alpha + (w_0 * k(z_B) * c * (1 + \zeta(z_B) * v)) * \gamma_{fn} * \Psi + q_{\text{с.в.}}) * \sin\alpha * b * (3B^2 - 4b^2)}$$

де: h – ширина вантажної смуги ригеля;

b - відстань від краю ригеля до центру опорної підкладки склопакета дорівнює 150 мм;

B – довжина ригеля;

L – довжина стійки;

Ψ - коефіцієнт поєднання короточасних навантажень ($\Psi = 0,9$).

Дана методика дозволяє виконати попередній підбір стійок і ригелів, залежно від навантажень, що діють.

На основі представленої методики в рамках даної роботи виконані розрахунки та сформовані графіки граничних довжин стійок ТПСК-60512, ТПСК-60513, ТПСК-60514, ТПСК-60515 залежно від довжини ригеля (кроку стійок).

Зважаючи на превалювання снігового навантаження над вітровою, графіки побудовані в залежності від снігових районів (I-VIII). Вітрове навантаження розраховане завжди як для III вітрового району з типом місцевості 3, висота установки - 20 м. При формуванні графіків до розрахунку було прийнято заповнення - склопакет з формулою 8зак-16-4.1.4.

3.4 Розрахунок просторово-стрижневих моделей МКЕ.

Система Femap на базі вирішувача NX Nastran дозволяє проводити аналіз динаміки та міцності конструкцій, машин та споруд, отримувати розв'язання нестационарних нелінійних просторових завдань, задач механіки композитів та композитних структур, будівельної та технологічної механіки, проводити аналіз теплопереносу, отримувати рішення задач механіки рідини та газу, пов'язаних багатодисциплінарних завдань.

Базові модулі Femap з NX Nastran дозволяють проводити основні види інженерного аналізу, такі як лінійний статичний аналіз, аналіз частот і форм вільних коливань, аналіз втрати стійкості конструкцій, аналіз завдань стаціонарного та нестационарного теплообміну, базові можливості нелінійного аналізу. Базовий нелінійний аналіз включає облік таких нелінійностей, як геометрична (великі деформації, переміщення, навантаження, що стежать) і фізична (облік нелінійних матеріалів — пластичності, повзучості, в'язкопружності), облік контактної взаємодії при малих переміщеннях — «лінійний» контакт, облік контакту з умовою суцільності. Розширений нелінійний модуль (Advanced Nonlinear) використовується при аналізі великих нелінійностей (у тому числі деформування еластомерів, облік просторової контактної взаємодії), поєднанні різних видів нелінійностей, а також при моделюванні та розрахунку швидкопротікаючих нелінійних динамічних процесів на основі явної схеми інтегрування.

Femap включає три додаткові модулі: Femap Flow Solver — дозволяє здійснювати аналіз гідро- та газодинаміки; Femap Advanced Thermal Solver -

надає набір можливостей для аналізу тепломасоперенесення, включаючи моделювання рідинних каналів, пов'язаної конвекції та аналіз гідро-, газодинамічних потоків; Femap Thermal Solver – рішення для температурного аналізу та аналізу теплоперенесення.

Femap використовується фахівцями проектних організацій для моделювання складних конструкцій, систем і процесів, таких як супутники, літаки, електронна апаратура військового призначення, важке будівельне обладнання, підйомні крани, морський транспорт і технологічне обладнання. Femap забезпечує вирішення складних завдань інженерного аналізу в різних галузях, наприклад, таких як будівельна, авіаційно-космічна, вертольотобудування, оборонна промисловість та суднобудування.

3.5. Опис розрахункової схеми МКЕ

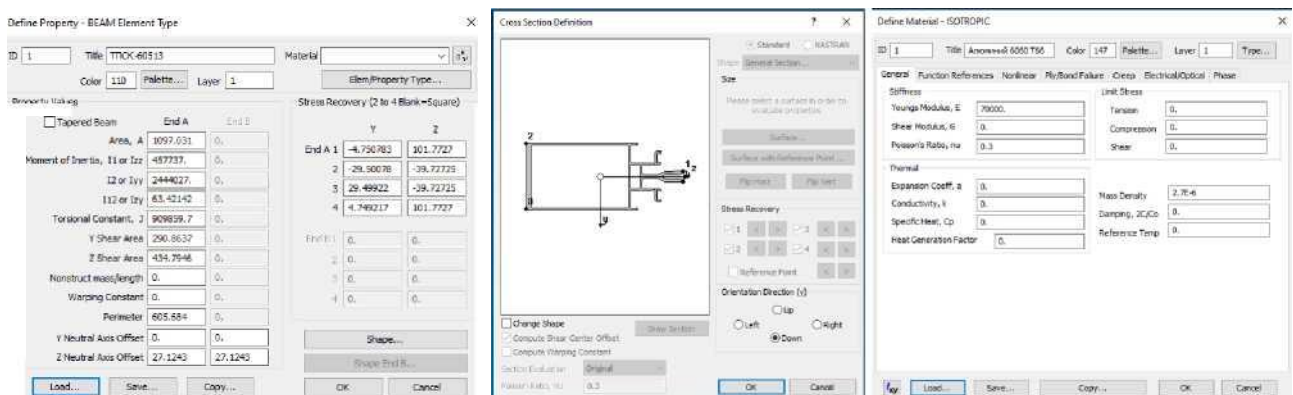


Рисунок 3.1 - Властивості перерізу та матеріалу балкового кінцевого елемента.

Розрахункова схема просторового каркаса світлопрозорого покриття представляється як системи балкових (beam) кінцевих елементів. Переріз балкових елементів задаються заздалегідь створеними властивостями, що мають всі необхідні дані по геометричним характеристикам, модуль пружності матеріалу, коефіцієнт Пуассона і щільність матеріалу, для обліку в розрахунку власної ваги конструкції (Рис. 3.1).

Для рівномірної передачі всіх навантажень на каркас моделюється

заповнення пластинчастими (plate) елементами з подальшим розбиттям їх на сітку чотиризовими кінцевими елементами. Оскільки в розрахунку каркаса не повинна враховуватися міцність і жорсткість заповнення, для нього задається близький до нуля модуль пружності. При подальшому аналізі розглядається лише каркас.

Граничні умови визначаються залежно від розрахункової схеми. Задається заборона переміщень (TX, TY, TZ) та заборона повороту навколо осі (RX, RY, RZ).

3.6 Результати розрахунку МКЕ

Результаты расчета МКЭ двухскатного покрытия $\alpha=15^0$. Схема 1.

Расчетная схема пространственного каркаса (Рис.3.2) выполнена стержневыми и пластинчатыми элементами. Заданы запреты перемещений и поворотов в опорных узлах стоек TX, TY, TZ, UX, UZ. В коньковом узле задана свобода поворота UY.

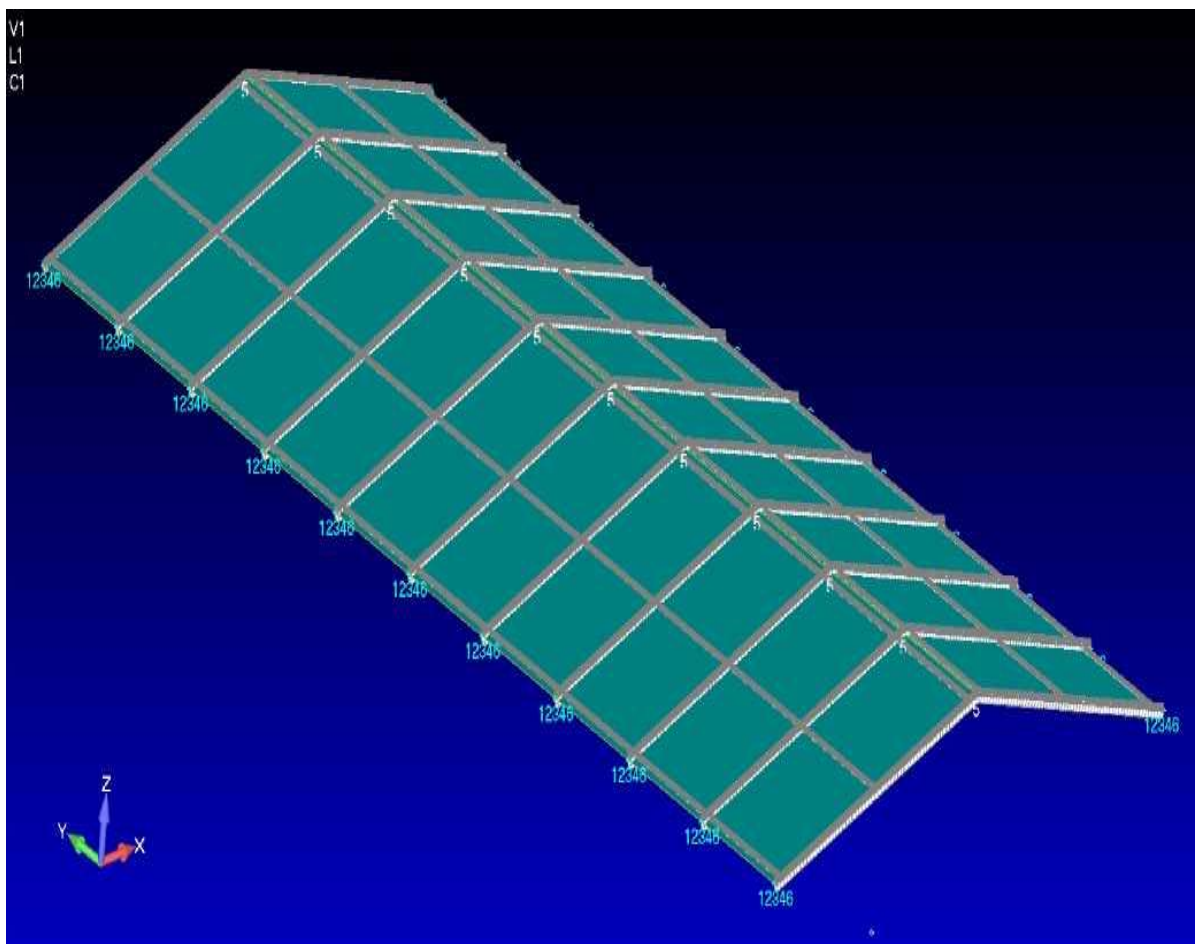


Рисунок 3.2.-Розрахункова модель просторового каркасу покриття.

За результатами розрахунків отримано мозайку згинальних моментів у стрижнях каркасу (Рис. 3.3). Стійки: $M_{\max}=4715939$ нмм., Ригелі: $M_{\max}=138000$ нмм.

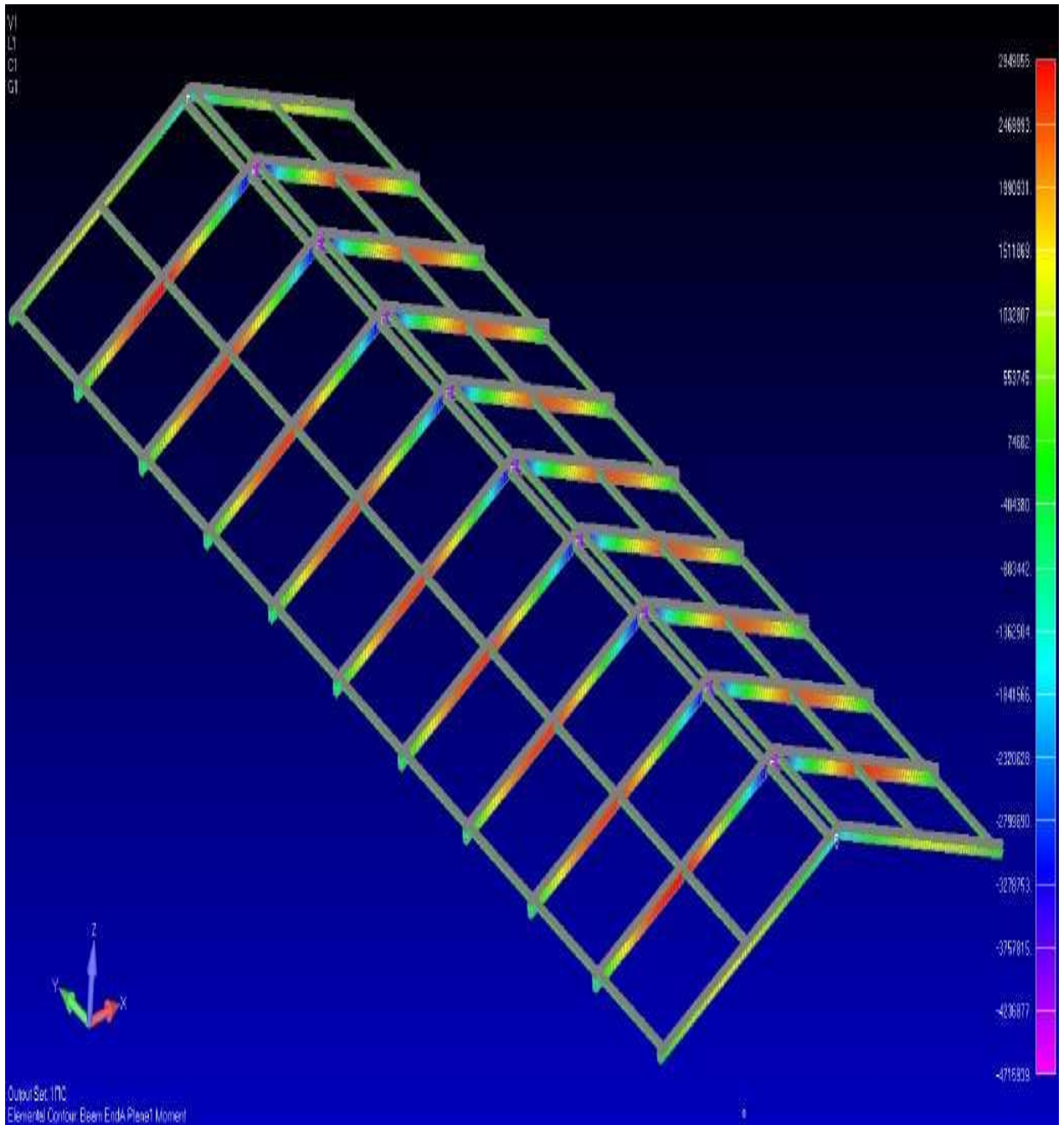


Рисунок 3.3 - ППС. Згинальні моменти в елементах каркасу, н*мм.

Оцінка міцності елементів каркасу проводиться за максимальним напруженням у стрижнях каркасу покриття (Рис. 3.4) виходячи з умови:

$$\sigma_{\max} \leq R_y * Y_c = 134,8 \text{ МПа.}$$

Напруги у стійках каркасу: $\sigma_{\max} = 116$ МПа.

Напруги у ригелях каркасу: $\sigma_{\max} = 71,8$ МПа.

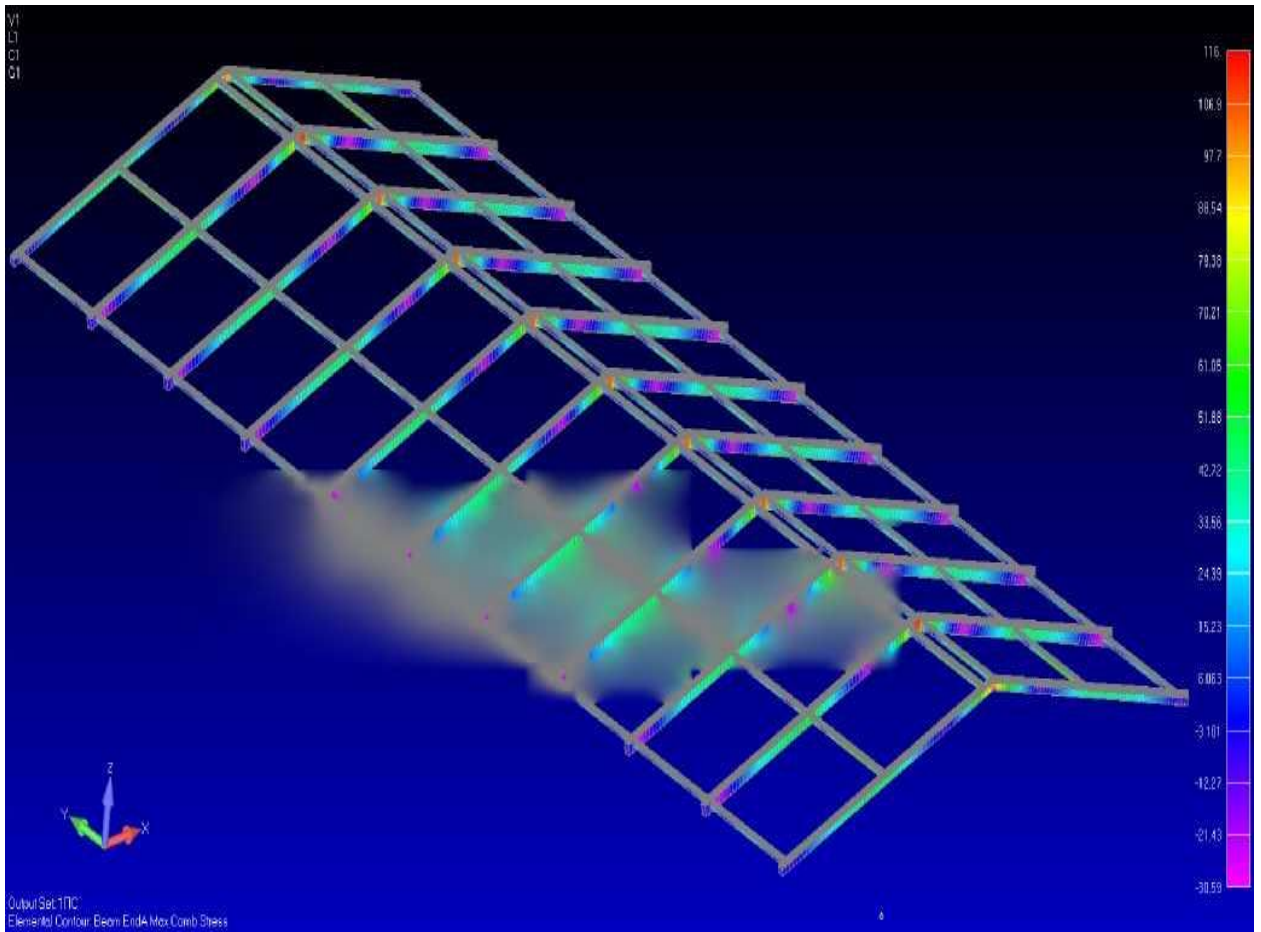


Рисунок 3.4 - І ПС. Напруги σ елементах каркаса покриття, МПа.

Оцінка стійкості плоскої форми деформування каркасу (Рис. 3.5) проводиться з умови: $q_{\text{кри}} = 2,67 \quad q \geq q_{\text{Укри}} = q * 1,3$

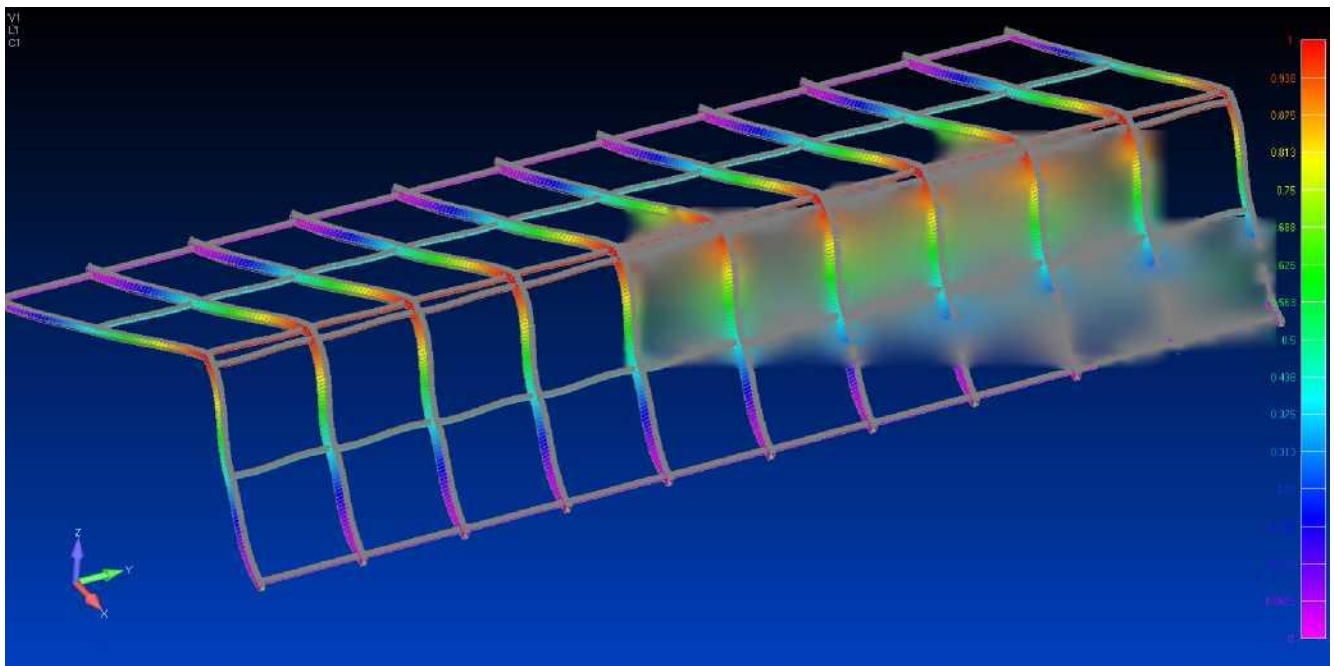


Рисунок 3.5 - І ПС. Перша форма втрати стійкості каркасу покриття.

Оцінка за II групою граничних станів елементів просторового каркасу покриття (Рис. 3.6) проводиться з умови забезпечення фактичної деформації меншою за допустиму: $f \leq f_u$

Деформації для стійок становлять: $f = 10,97 \text{ мм.} < f_u = \frac{L}{200} = 15 \text{ мм.}$

Деформації для ригелів становлять: $f = 2,77 \text{ мм.} < f_u = \frac{L}{250} = 4,8 \text{ мм.}$

Деформації стійок без відображення ригелів зображені на Рис. 3.7.

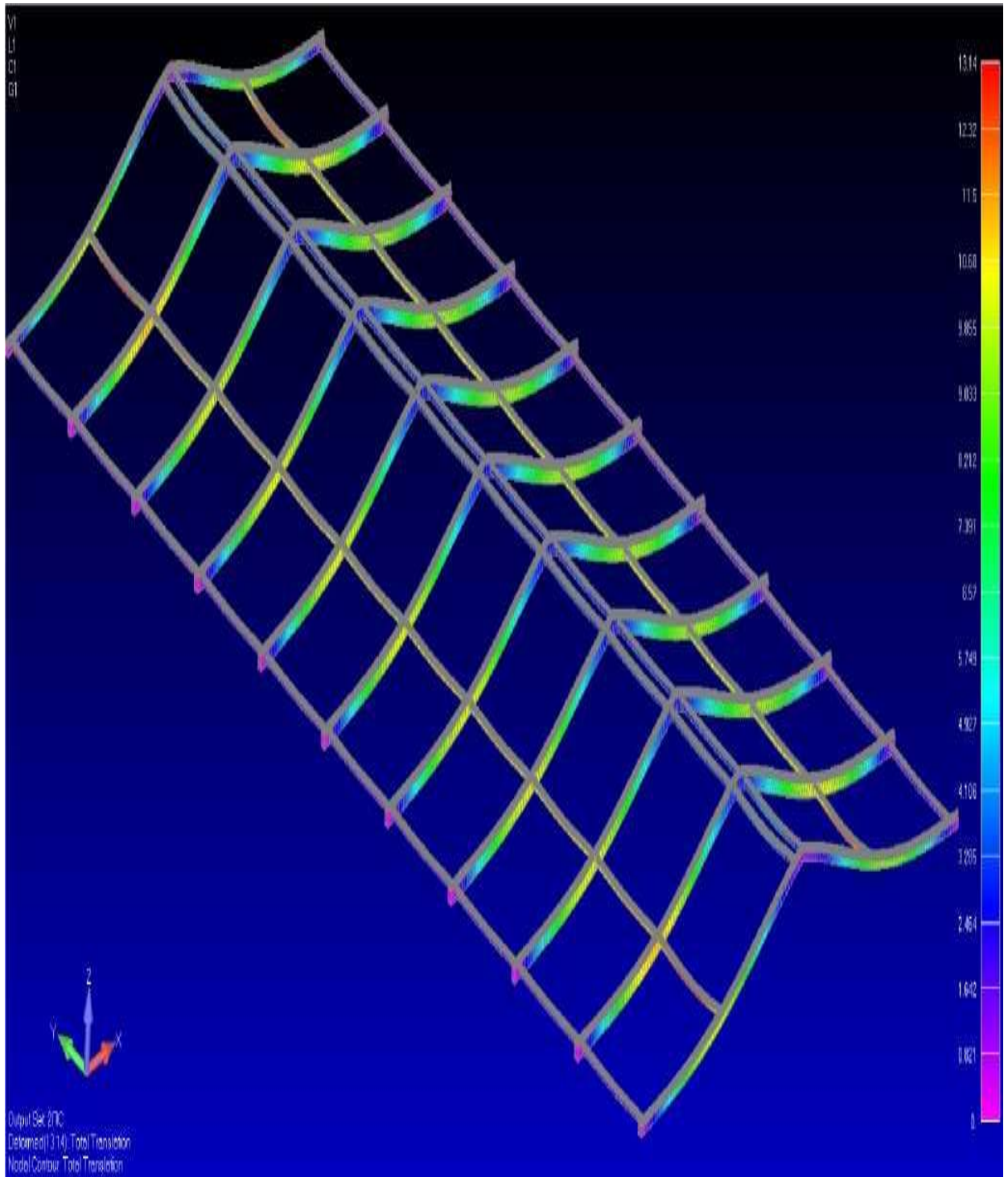


Рисунок 3.6 - II ПС. Деформація елементів каркасу покриття, мм.

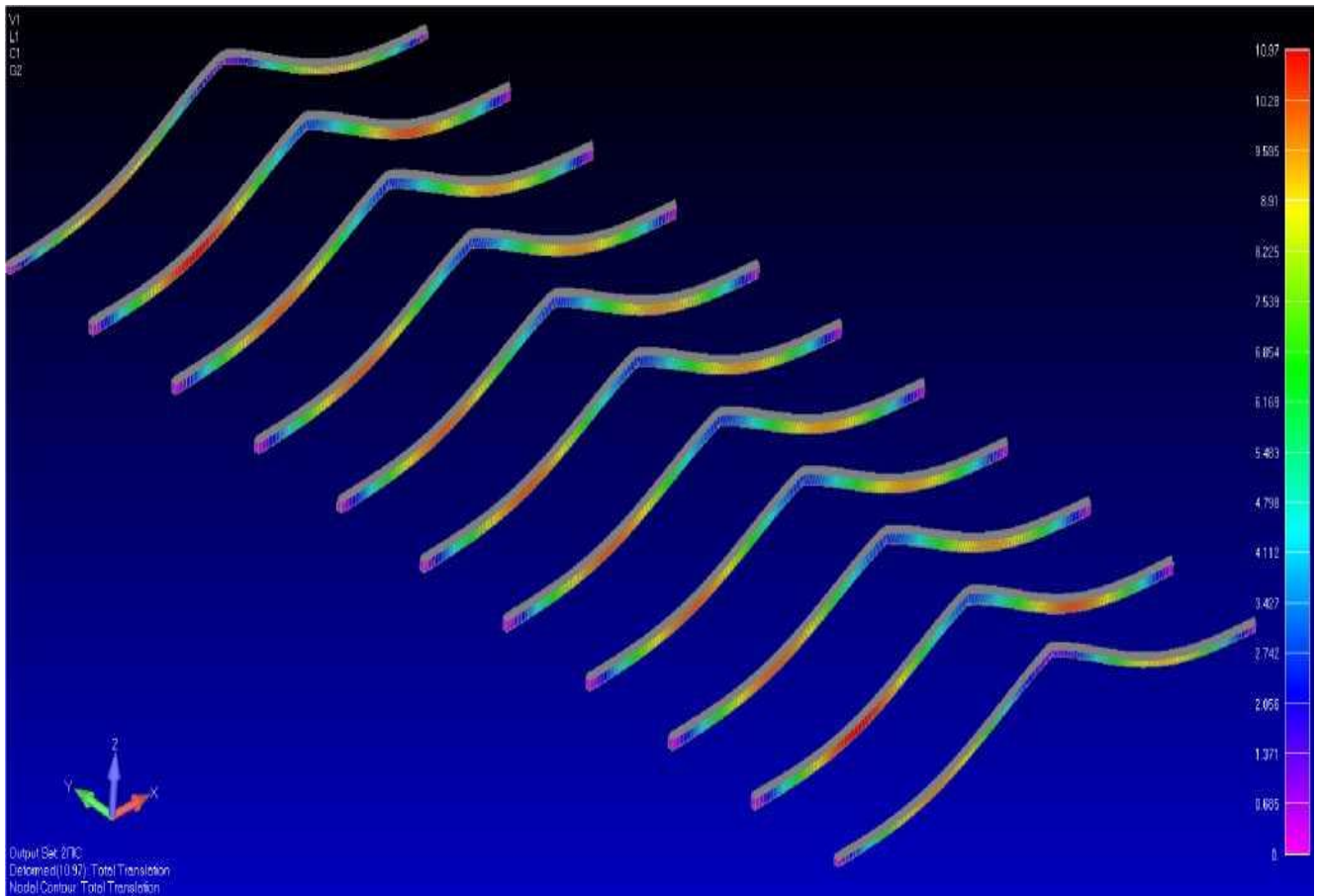


Рисунок 3.7 - II ПС. Деформації стійок каркасу покриття, мм.

Результати розрахунку МКЕ двосхилим покриття $\alpha=30^0$. Схема 2. Розрахункова схема просторового каркаса (Рис.3.8) виконана стрижневими та пластинчастими елементами. Задано заборони переміщень та поворотів у опорних вузлах стійок TX, TY, TZ, UX, UZ. У вузлі конька задана свобода повороту UY.

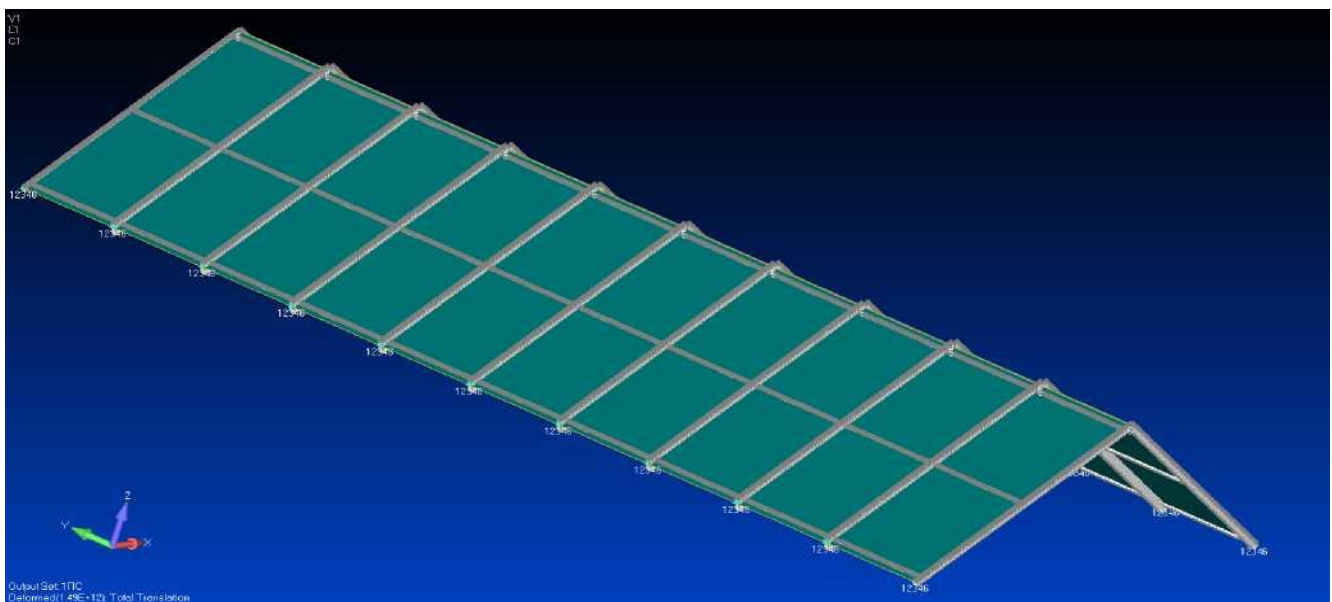


Рисунок 3.8 - Розрахункова модель просторового каркасу покриття.

За результатами розрахунків отримано мозайку згинальних моментів у стрижнях каркасу (Рис. 3.9). Стійки: $M_{\max}=6085672$ нмм., Ригелі: $M_{\max}=222163$ Н-мм.

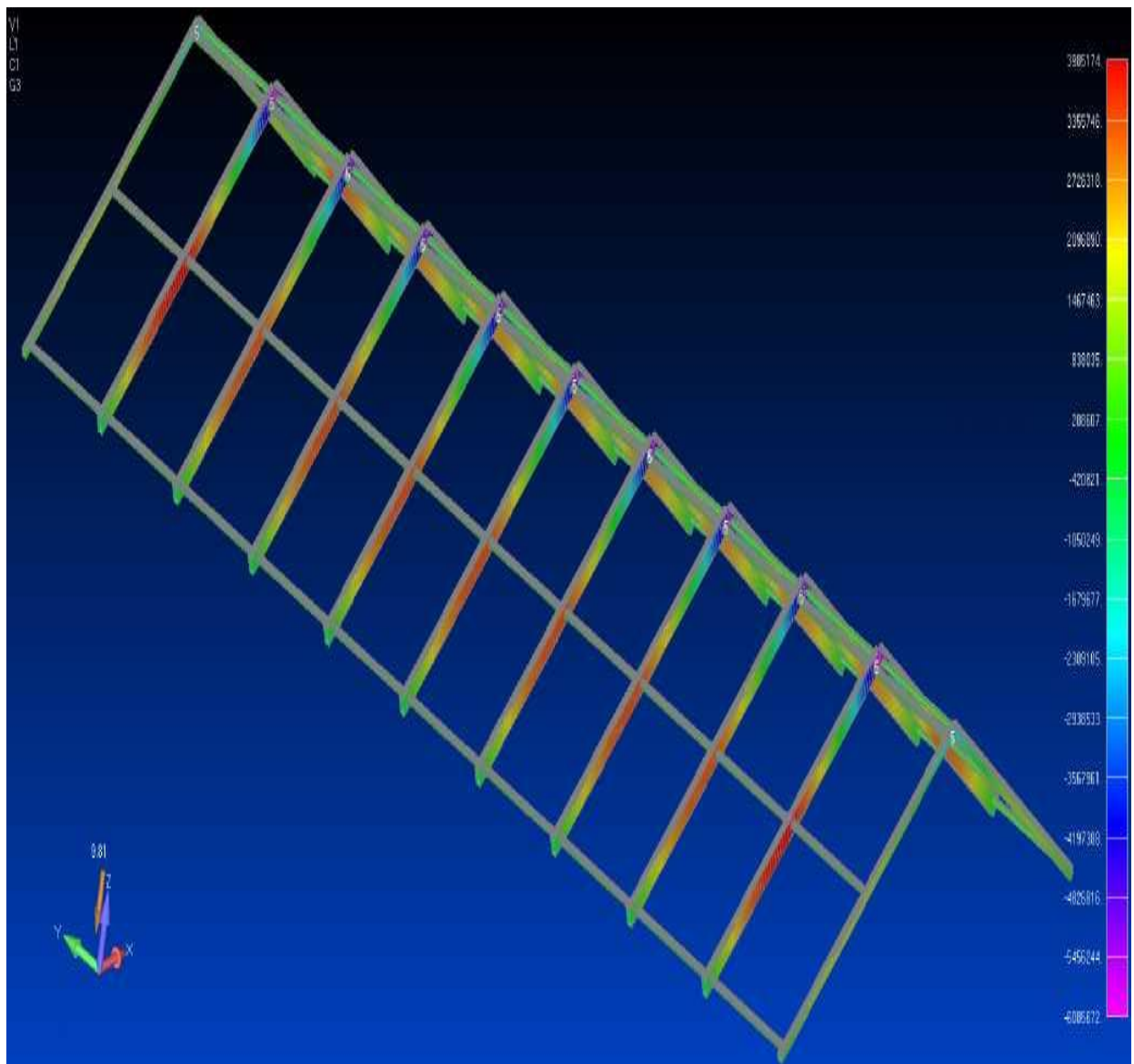


Рисунок 3.9 - ІПС. Згинальні моменти в елементах каркасу, нмм.

Оцінка міцності елементів каркасу проводиться за максимальним напруженням у стрижнях каркасу покриття (Рис. 3.10) виходячи з умови:

$$\sigma_{\max} \leq R_y * Y_c = 134,8 \text{ МПа.}$$

Напруги у стійках каркасу: $\sigma_{\max} = 120,7$ МПа.

Напруги у ригелях каркасу: $\sigma_{\max} = 117,2$ МПа.

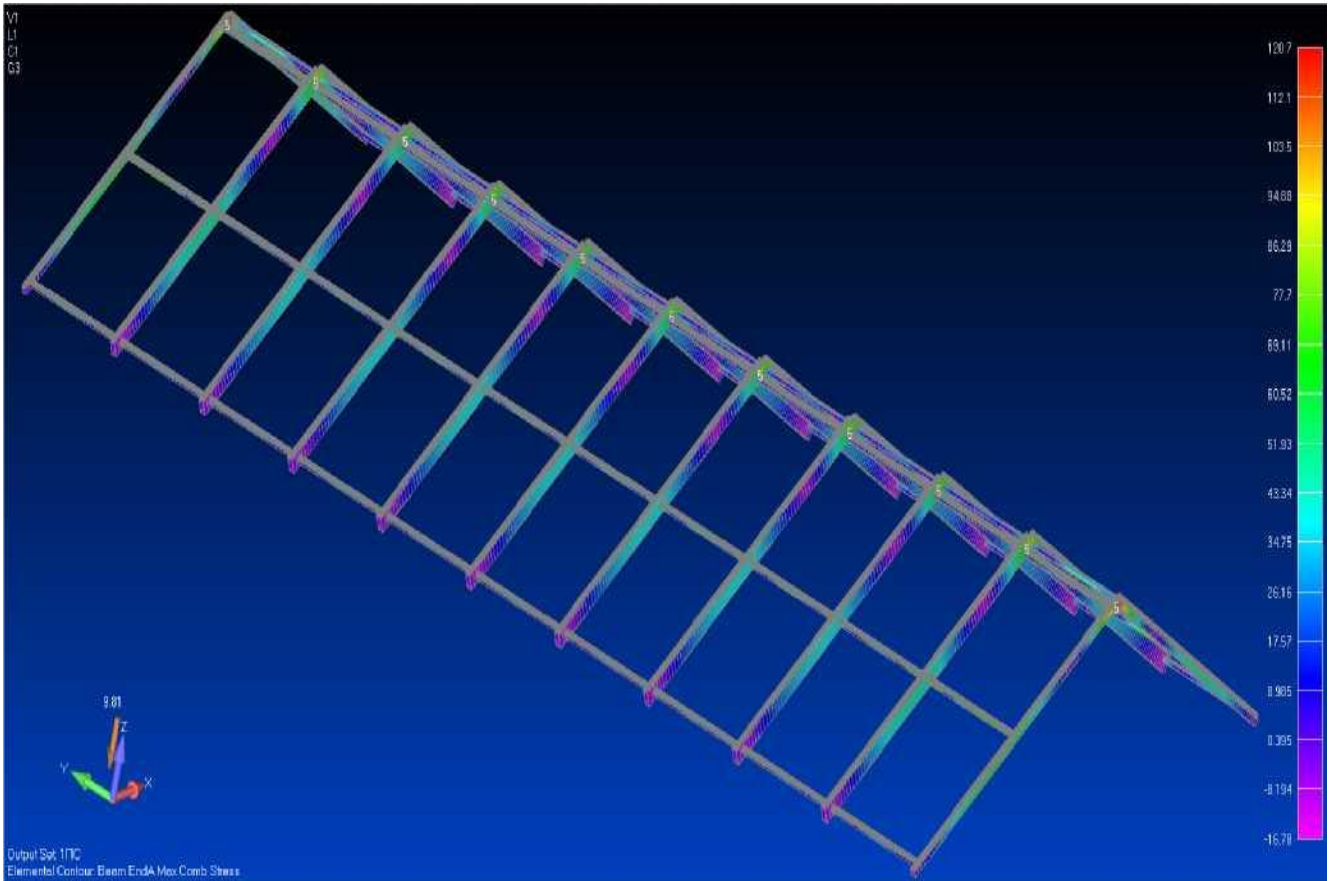


Рисунок 3.10 - І ПС. Напруги σ елементах каркаса покриття, МПа.

Оцінка стійкості плоскої форми деформування каркасу (Рис. 3.11) провадиться з умови: $q_{\text{кри}} = 4,56q \geq q_{\text{у кри}} = q * 1,3$

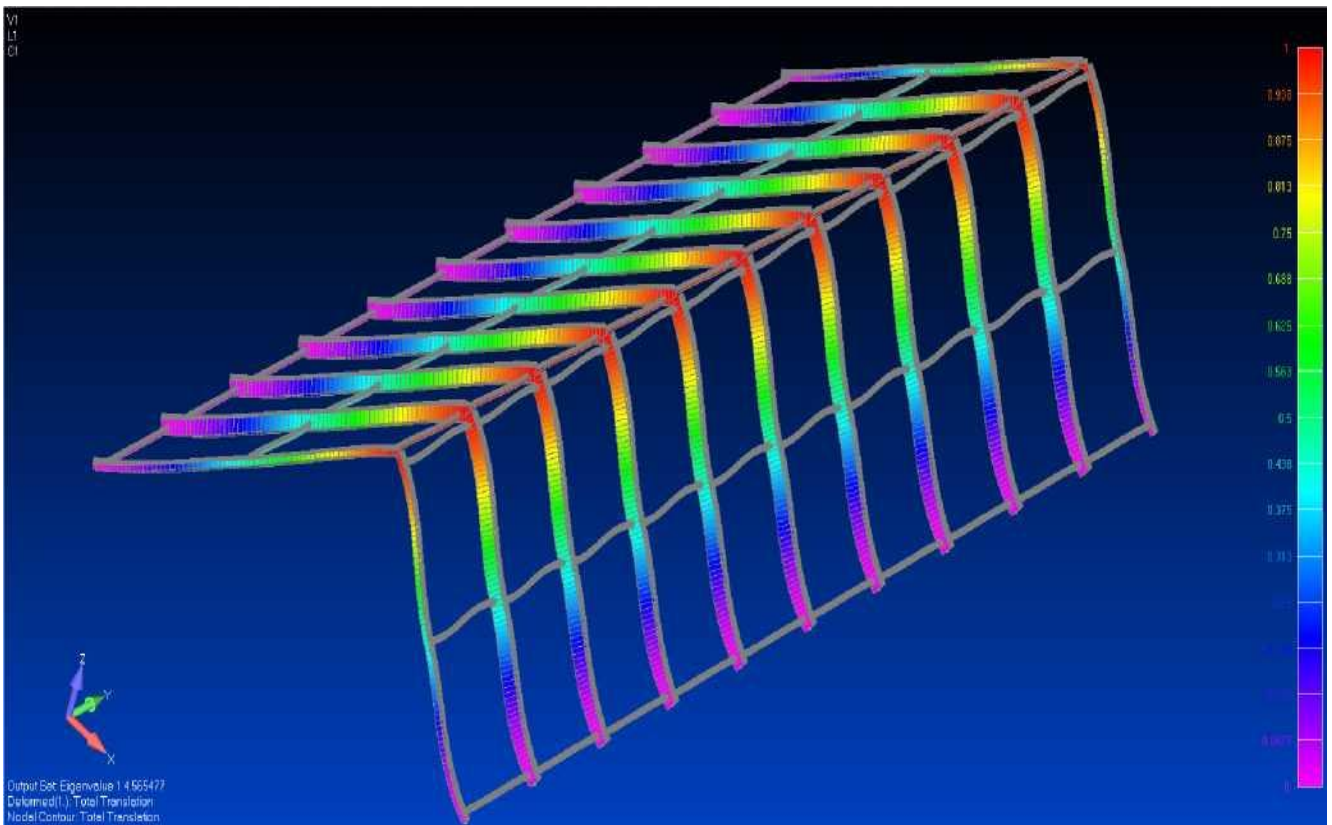


Рисунок 3.11 - І ПС. Перша форма втрати стійкості каркасу покриття.

Оцінка за II групою граничних станів елементів просторового каркасу покриття (Рис. 3.12) проводиться з умови забезпечення фактичної деформації меншою за допустиму:

$$f \leq f_u$$

Деформації для стійок становлять: $f = 13,56 \text{ мм.} < f_u = \frac{L}{200} = 200 = 17,3 \text{ мм.}$

Деформації для ригелів складають: $f = 2,4 \text{ мм.} < f_u = \frac{L}{250} = \sim = 4,8 \text{ мм.}$

Деформації стійок без відображення ригелів зображені на рис. 3.13.

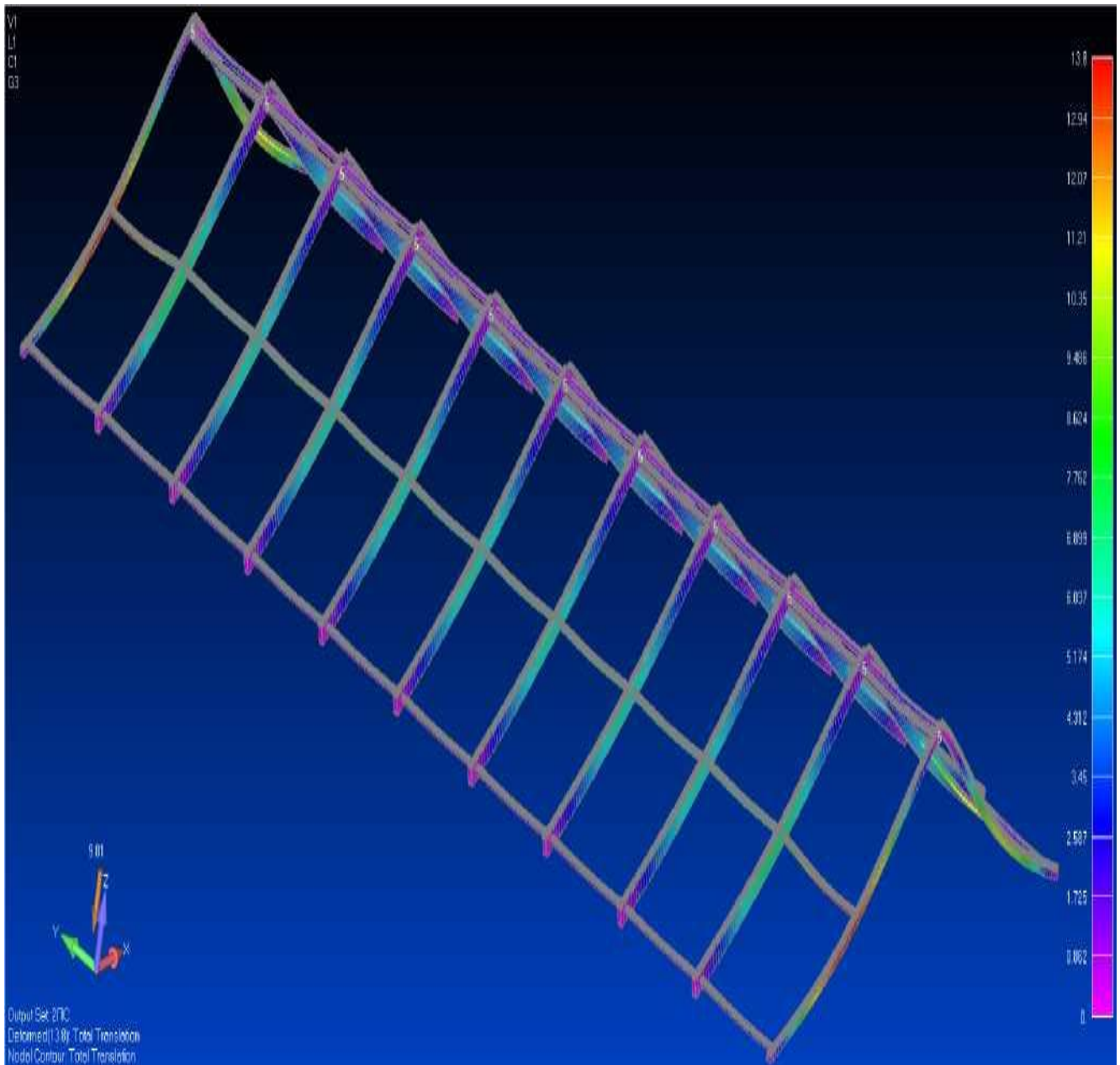


Рисунок 3.12 - II ПС. Деформація елементів каркасу покриття, мм.

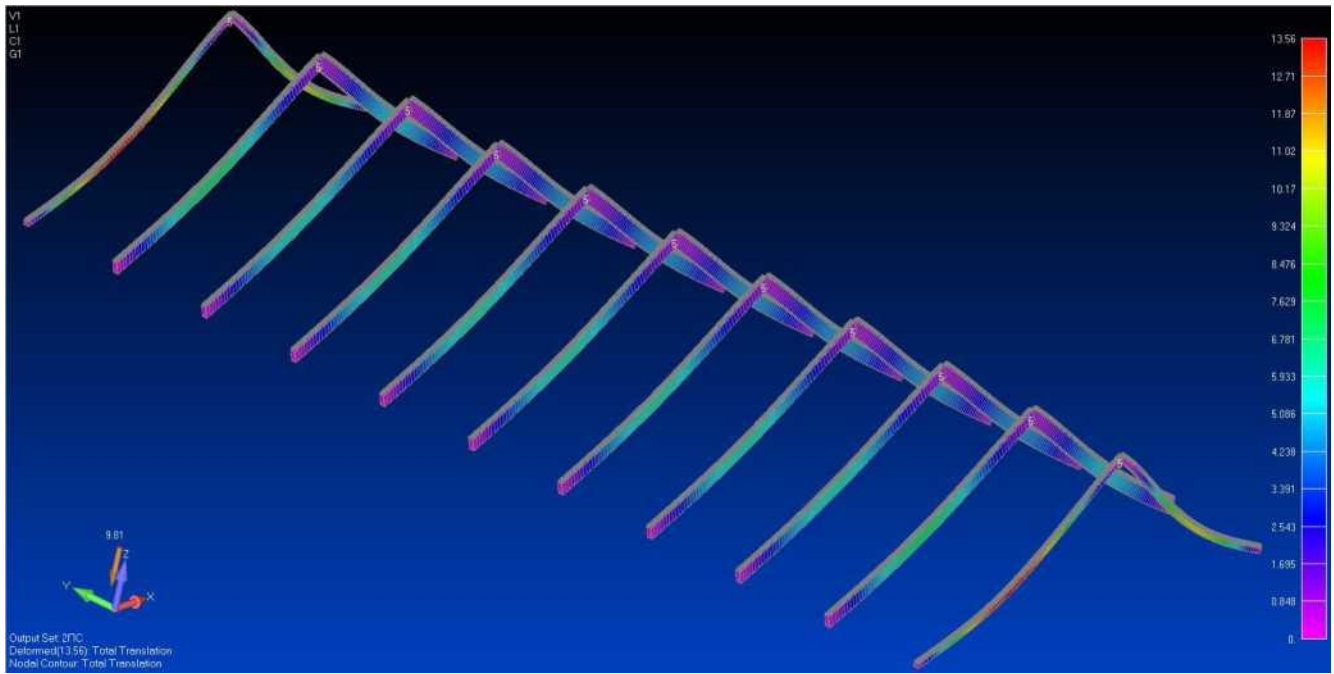


Рисунок 3.13 - II ПС. Деформації стійок каркасу покриття, мм. Результати розрахунку МКЕ двосхилим покриття $\alpha=45^0$. Схема 3.

Розрахункова схема просторового каркаса (Рис.3.14) виконана стрижневими та пластинчастими елементами. Задано заборони переміщень та поворотів у опорних вузлах стійок TX, TY, TZ, UX, UZ. У вузлі конька задана свобода повороту UY.

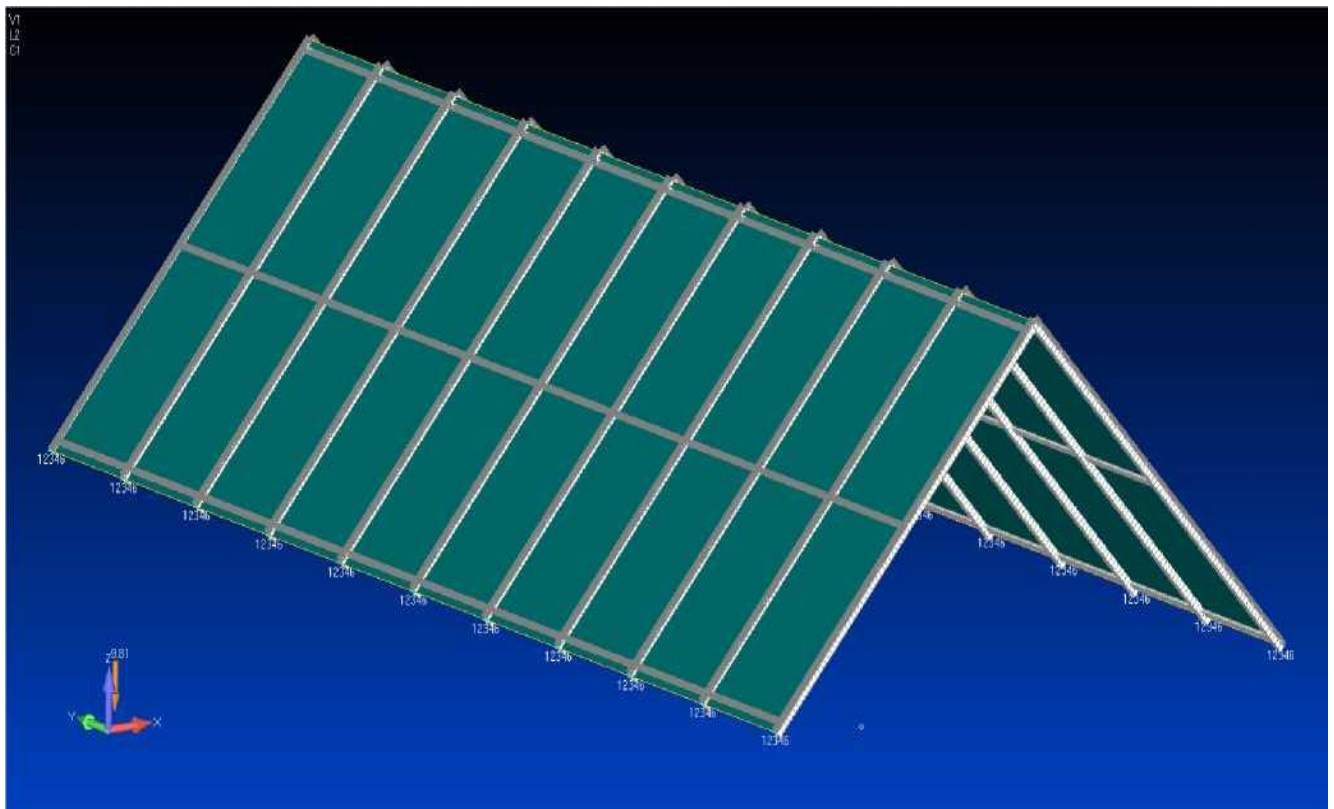


Рисунок 3.14 - Розрахункова модель просторового каркасу покриття.

За результатами розрахунків отримано мозаїку згинальних моментів у стрижнях каркасу (Рис. 3.15). Стійки: $M_{\max}=4417998$ нмм., Ригелі: $M_{\max}=199218$ нмм.

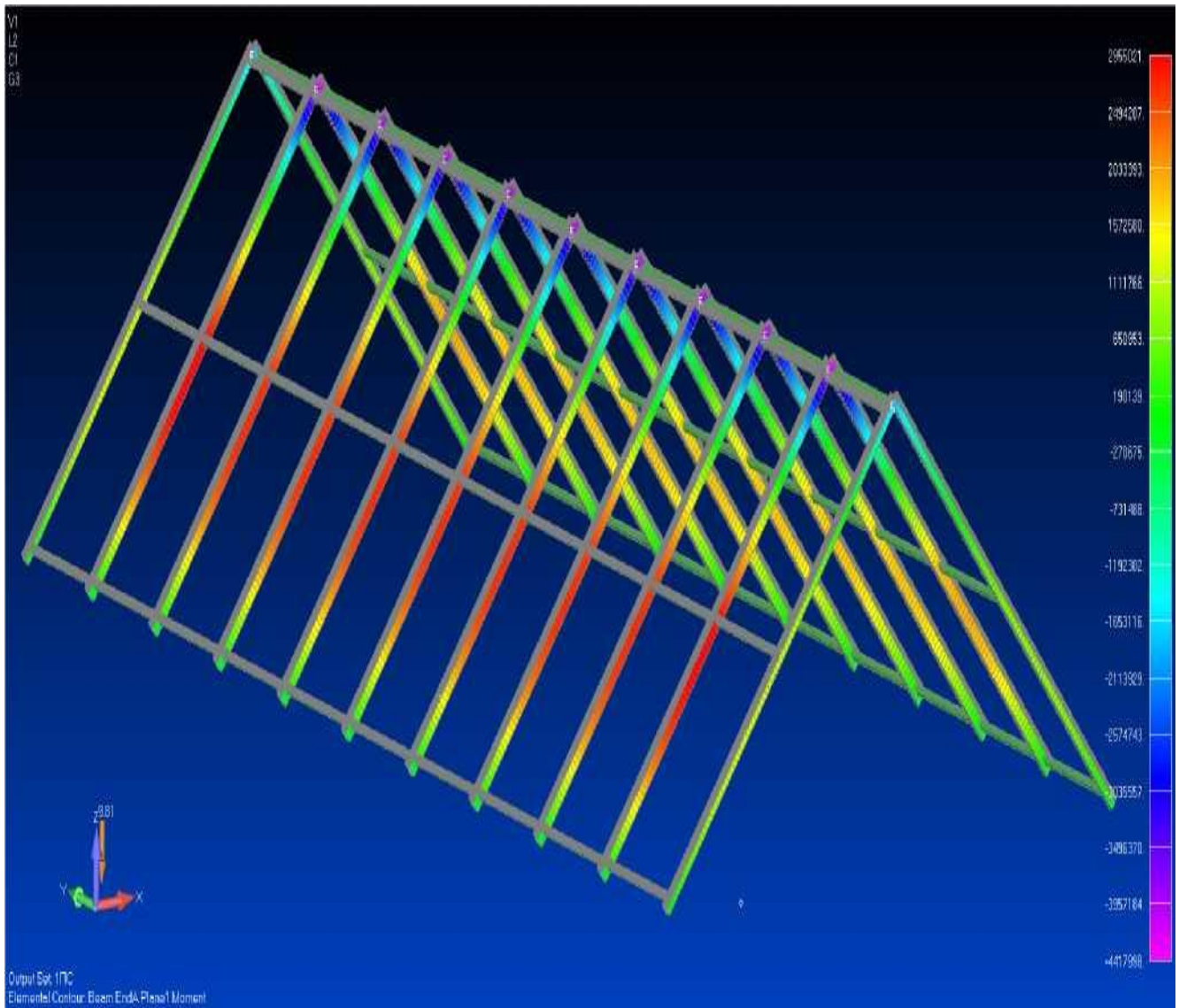


Рисунок 3.15. - ППС. Згинальні моменти в елементах каркасу, нмм.

Оцінка міцності елементів каркасу проводиться за максимальними напругами в стрижнях каркасу покриття (Рис. 3.16) виходячи з умови:

$$\sigma_{\max} \leq R_y * Y_c = 134,8 \text{ МПа.}$$

Напруги у стійках каркасу: $\sigma_{\max} = 129,6$ МПа.

Напруги у ригелях каркаса: $\sigma_{\max} = 49,75$ МПа.

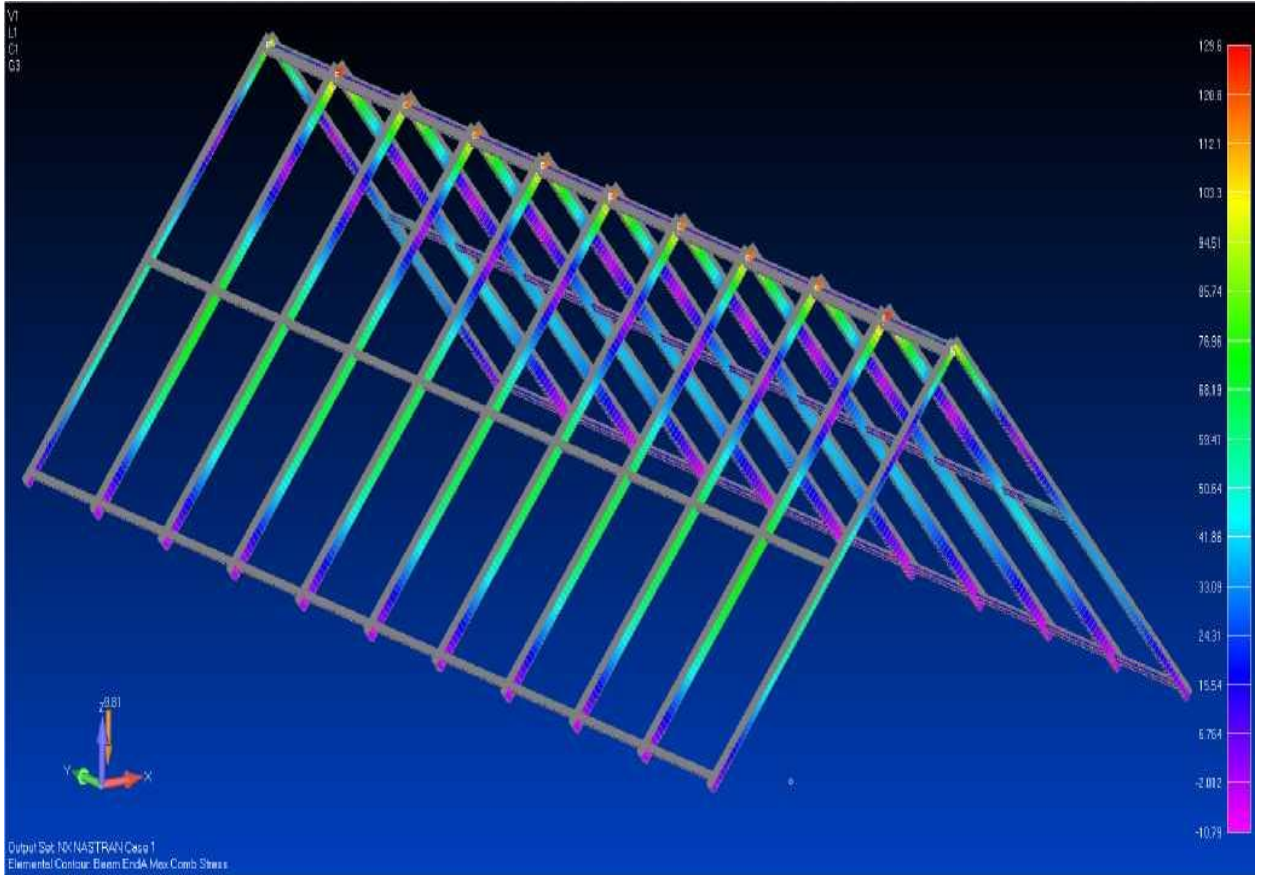


Рисунок 3.16 - І ПС. Напруги о елементах каркаса покриття, МПа.

Оцінка стійкості плоскої форми деформування каркасу (Рис. 3.17) провадиться з умови: $q_{кри} = 5,52q \geq q_{у кри} = q * 1,3$

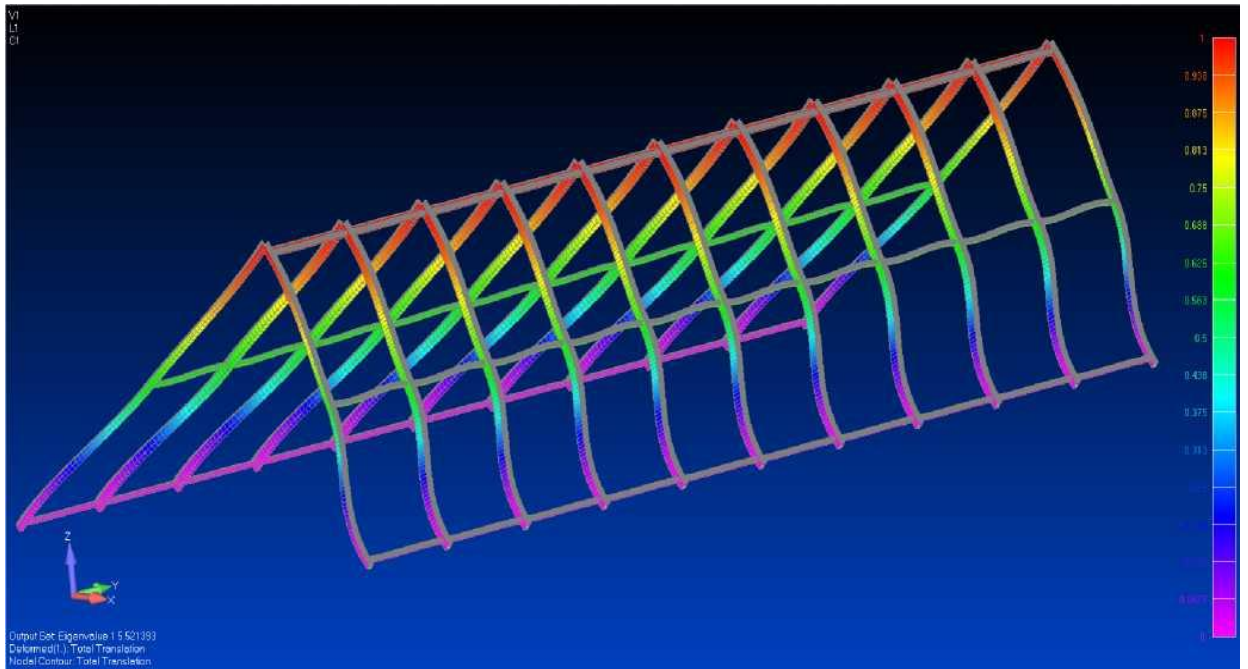


Рисунок 3.17. І ПС - Перша форма втрати стійкості каркасу покриття.

Оцінка за II групою граничних станів елементів просторового каркаса покриття (Рис. 3.18) проводиться з умови забезпечення фактичної деформації меншою за допустиму:

$$f \leq f_u$$

Деформації для стійок становлять: $f = 19,76 \text{ мм.} < f_u = \frac{L}{200} = 21,2 \text{ мм.}$

Деформації для ригелів становлять: $f = 1,8 \text{ мм.} < f_u = \frac{L}{250} = 4,8 \text{ мм.}$

Деформації стійок без відображення ригелів зображені на Рис. 3.19.

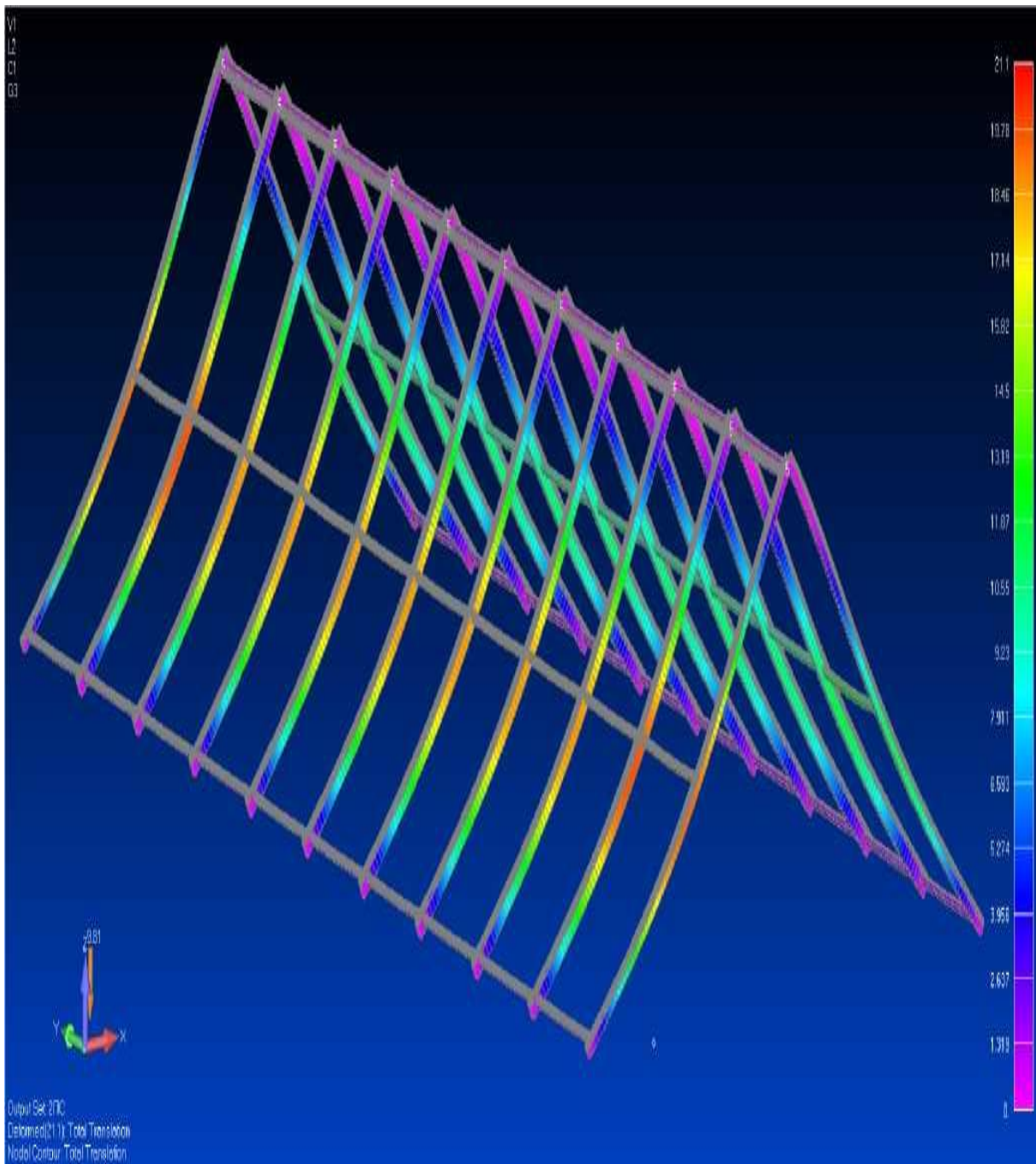


Рисунок 3.18 - II ПС. Деформація елементів каркаса покриття, мм.

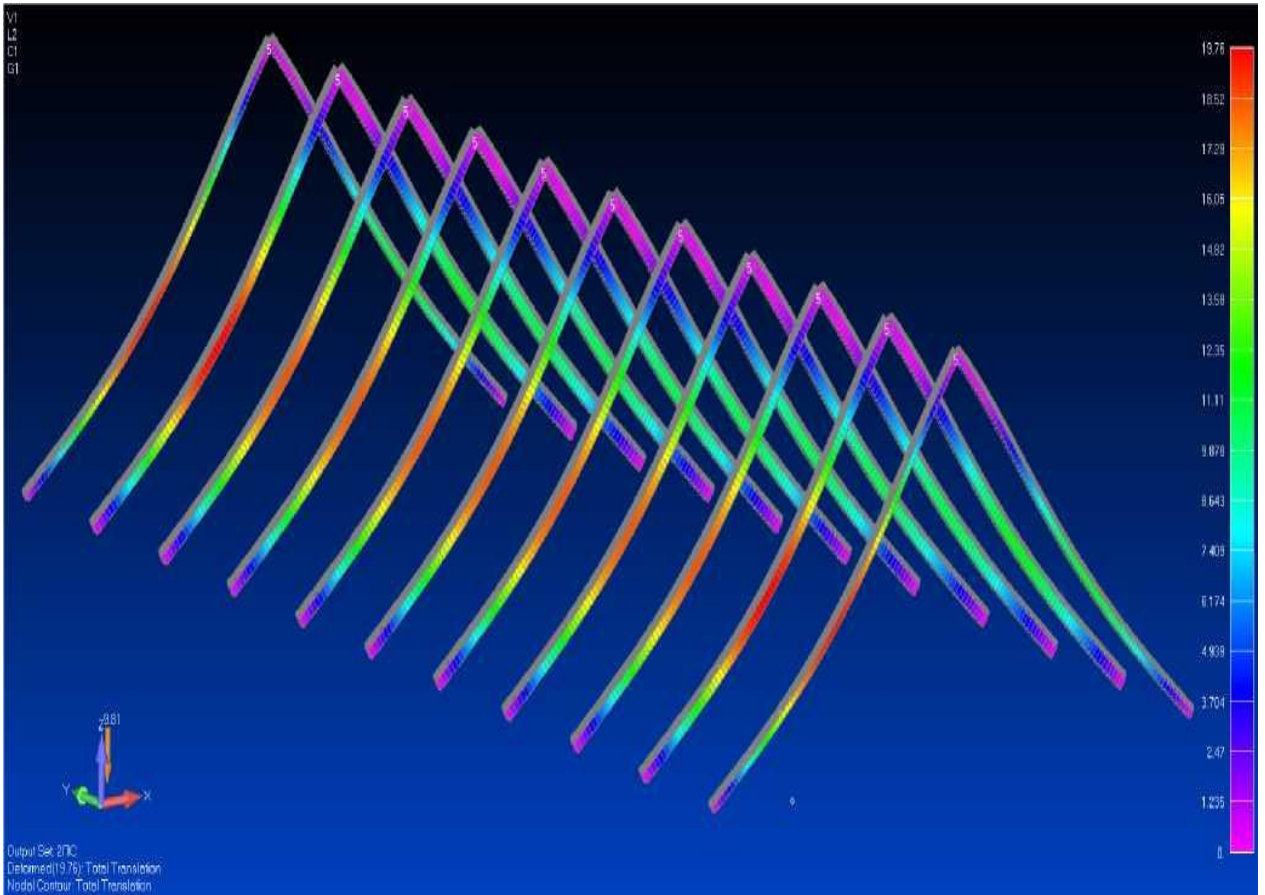


Рисунок 3.19 - II ПС. Деформації стійок каркасу покриття, мм.

Результати розрахунку МКЕ арочного покриття. Схема 4.

Розрахункова схема просторового каркаса (Рис.3.20) виконана стрижневими та пластинчастими елементами. Задано заборони переміщень та поворотів у опорних вузлах стійок TX, TY, TZ, UX, UZ.

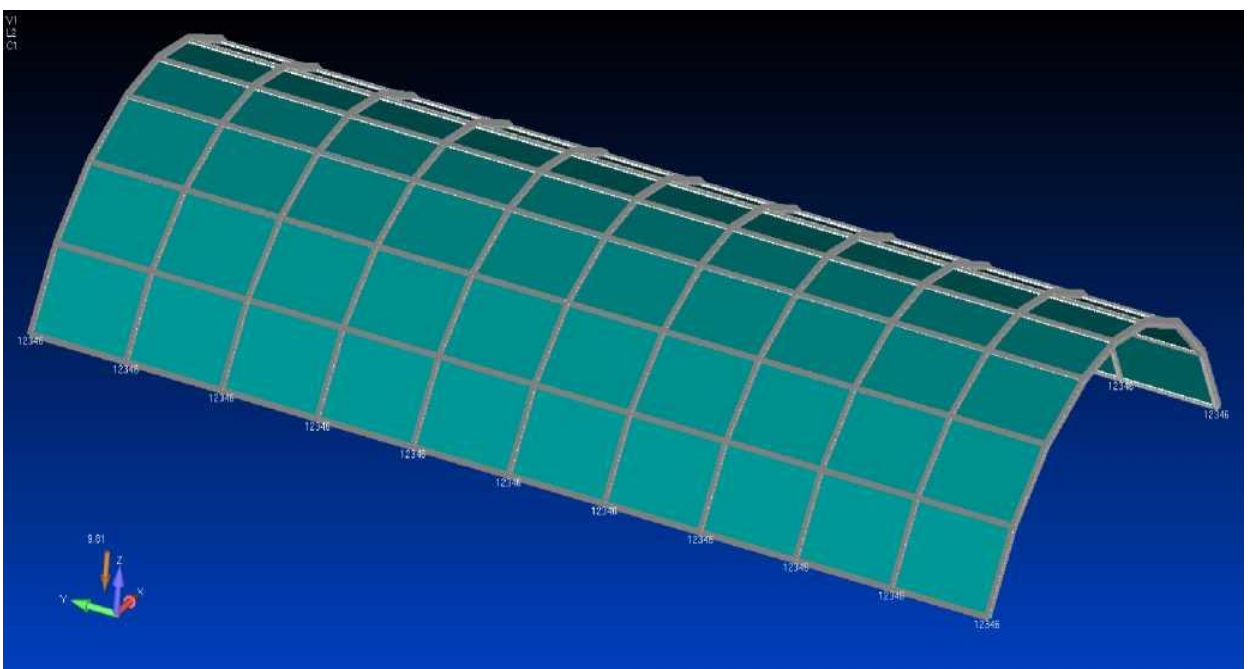


Рисунок 3.20 - Розрахункова модель просторового каркасу покриття.

За результатами розрахунків отримано мозайку згинальних моментів у стрижнях каркасу (Рис. 3.21).

Стойки: $M_{\max}=1954330$ нмм.,

Ригелі: $M_{\max}=1549862$ нмм.

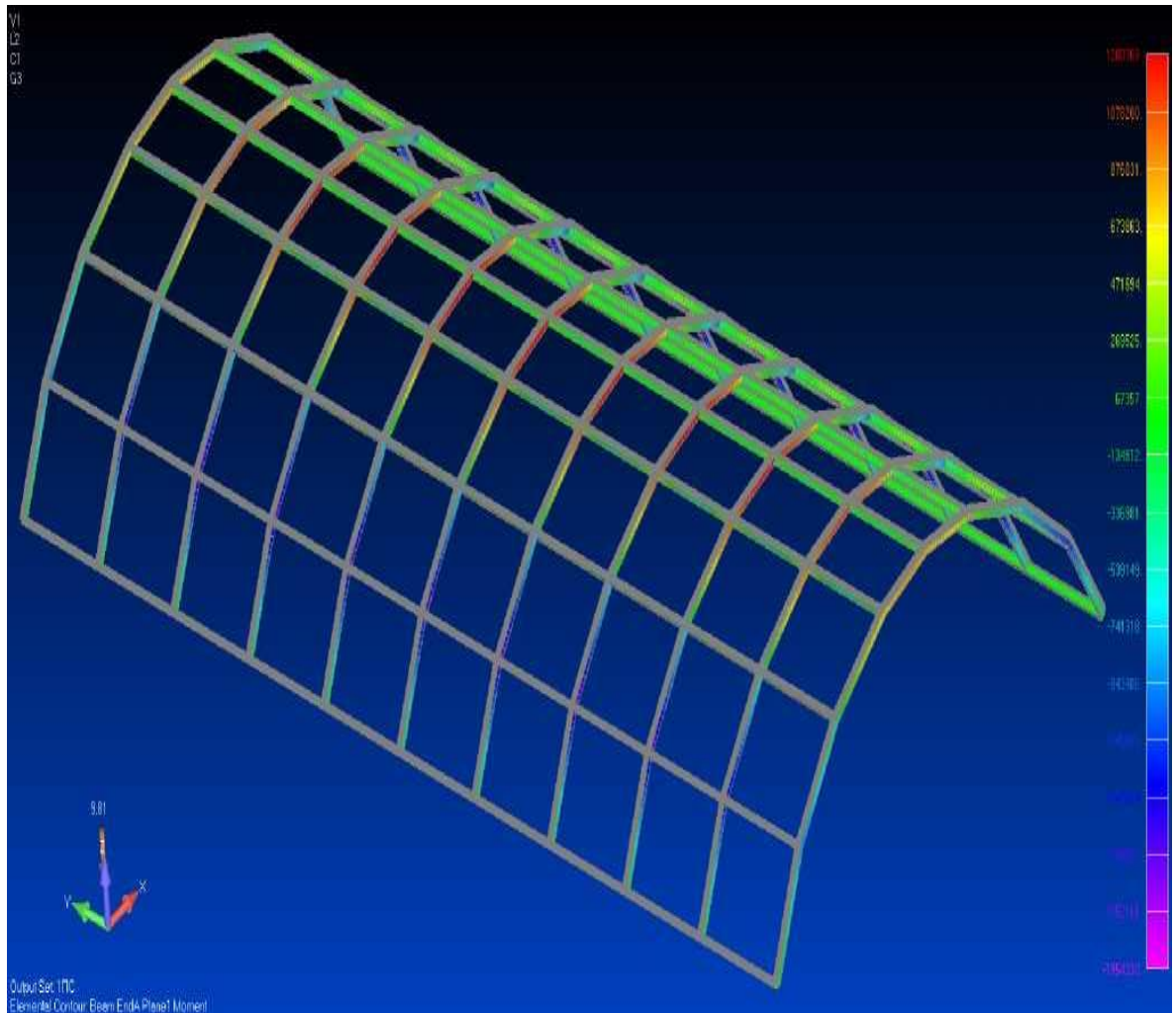


Рис. 3.21. ІПС. Изгибающие моменты в элементах каркаса, нмм.

Оцінка міцності елементів каркасу проводиться за максимальними напругами в стрижнях каркасу покриття (Рис. 3.22) виходячи з умови:

$$\sigma_{\max} \leq R_y * Y_c = 134,8 \text{ МПа.}$$

Напруги у стійках каркасу: $\sigma_{\max} = 98,34$ МПа.

Напруги у ригелях каркасу: $\sigma_{\max} = 123,8$ МПа.

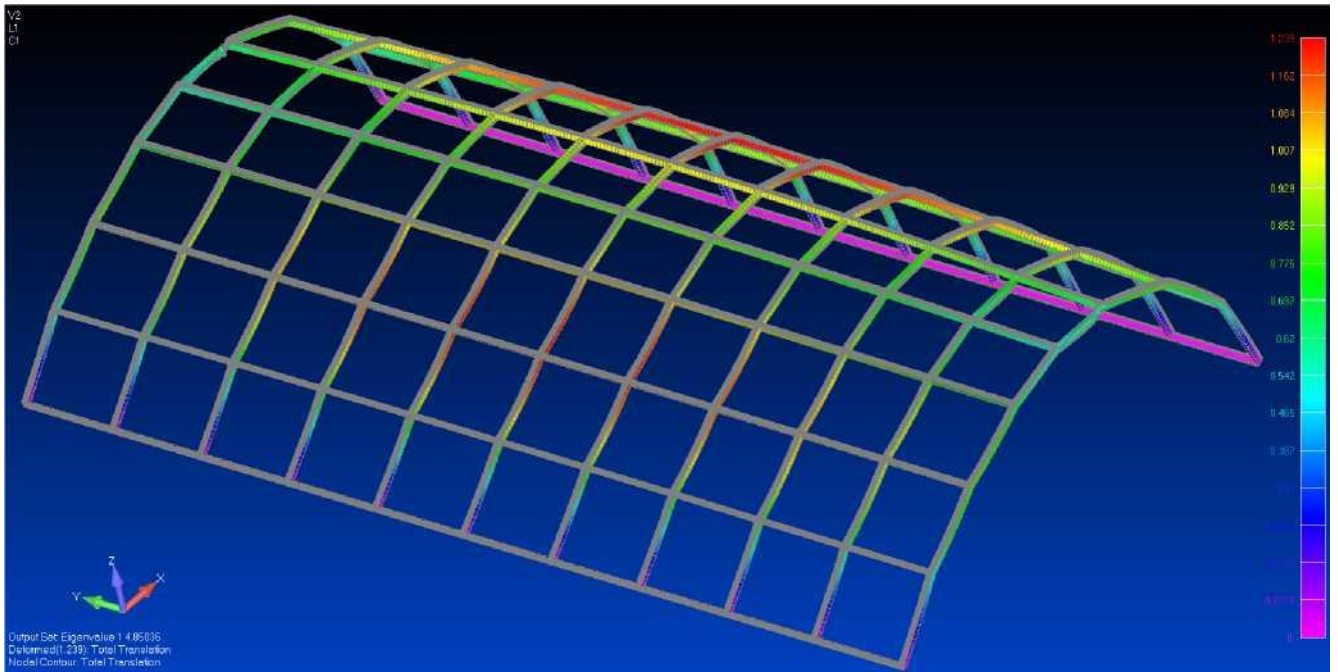


Рисунок 3.22 - I ПС. Напруги σ елементах каркаса покриття, МПа.
 Оцінка стійкості плоскої форми деформування каркасу (Рис. 3.23)
 провадиться з умови: $q_{\text{кри}} = 5,52q \geq q_{\text{у кри}} = q * 1,3$

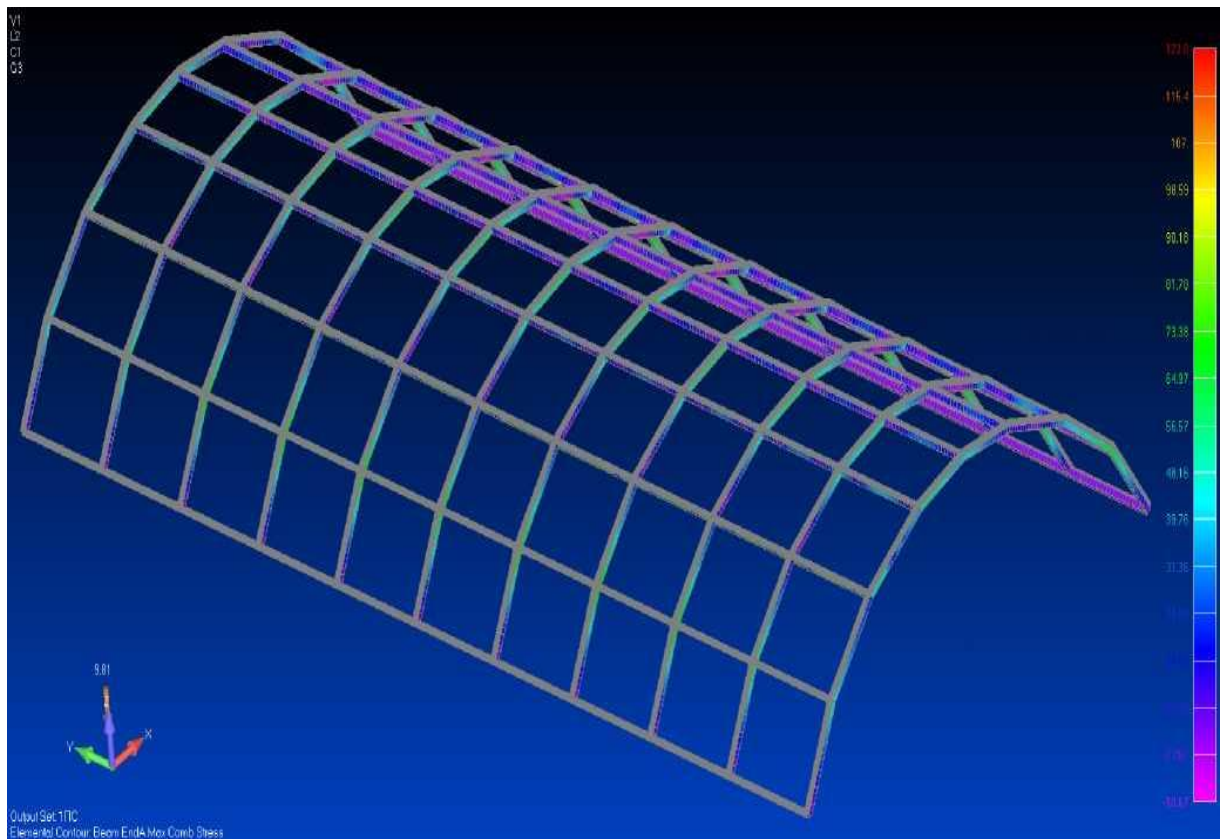


Рисунок 3.23 - I ПС. Перша форма втрати стійкості каркасу покриття

Оцінка за II групою граничних станів елементів просторового каркаса покриття (Рис. 3.24) проводиться з умови забезпечення фактичної деформації меншою за допустиму:

$$f \leq f_u$$

Деформації для стійок становлять: $f = 19,92 \text{ мм.} < f_u = \frac{L}{200} = 30 \text{ мм.}$

Деформации для ригелей составляют: $f = 3,66 \text{ мм} < f_u = \frac{L}{250} = 4,8 \text{ мм.}$

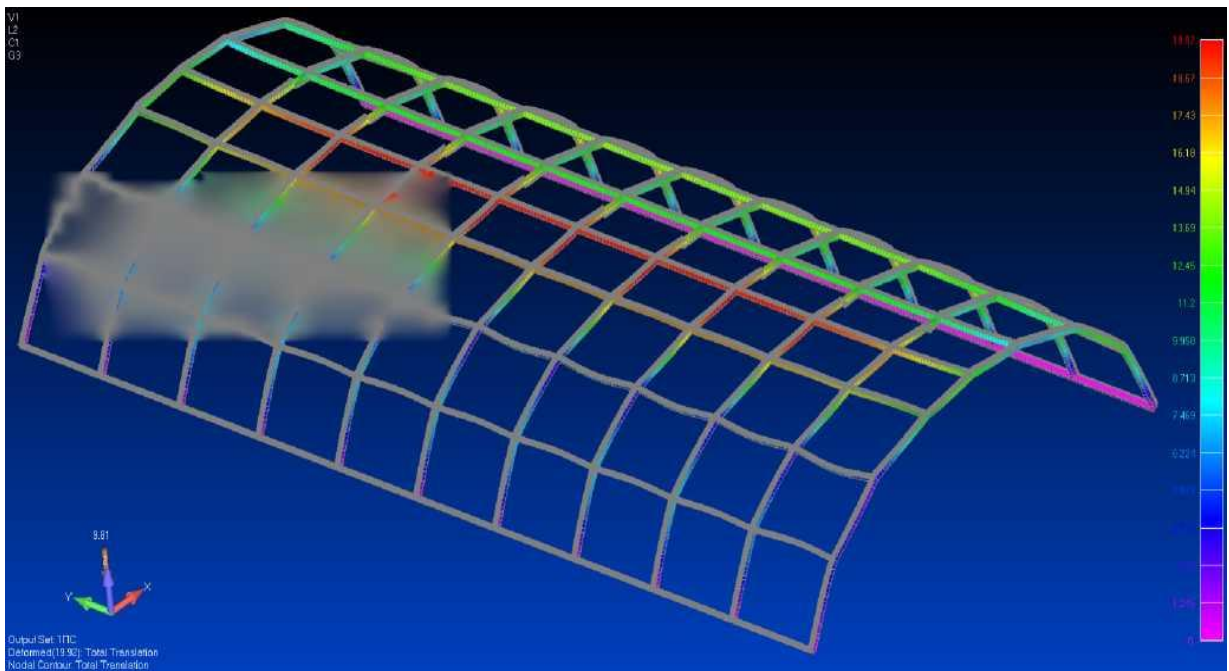


Рисунок 3.24 - II ПС. Деформація елементів каркасу покриття, мм.

Деформації стійок без відображення ригелів зображені на рис. 3.25.

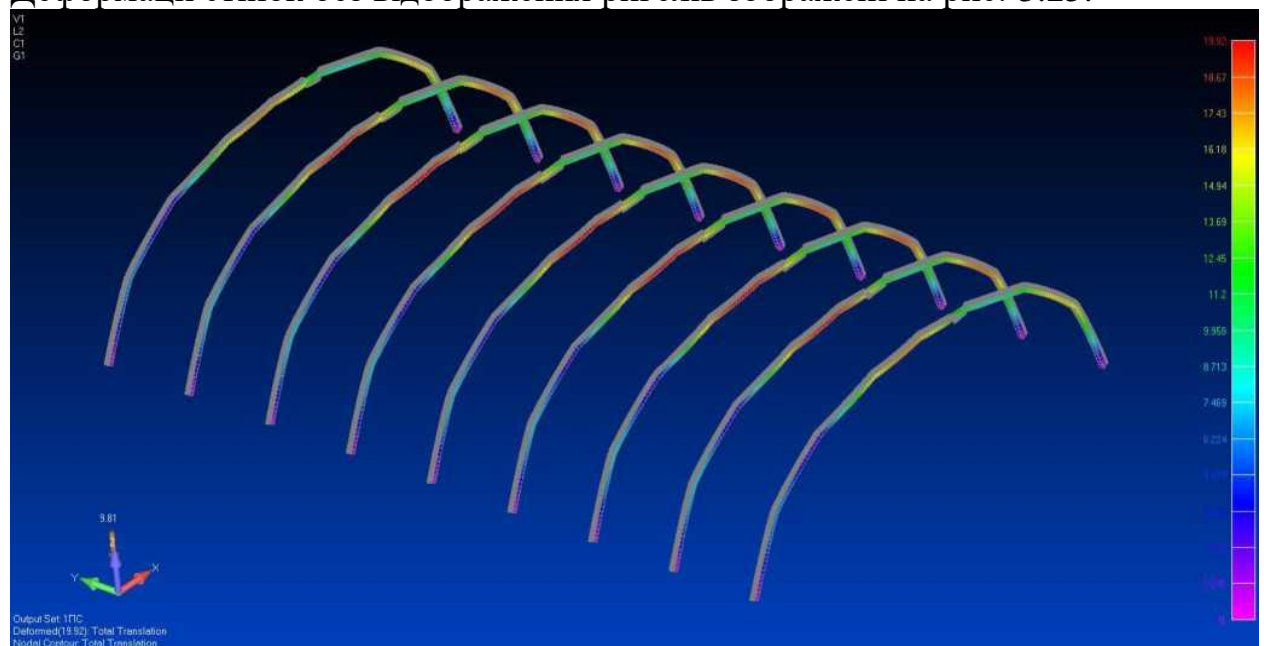


Рисунок 3.25 - II ПС. Деформації стійок каркасу покриття, мм.

Результати розрахунку МКЕ покриття «Піраміда» $\alpha=15^0$. Схема 5.

Розрахункова схема просторового каркаса (Рис.3.26) виконана стрижневими та пластинчастими елементами. Задано заборони переміщень та поворотів в опорних вузлах стійок TX, TY, TZ, UX, UY, UZ залежно від розташування на межі піраміди.

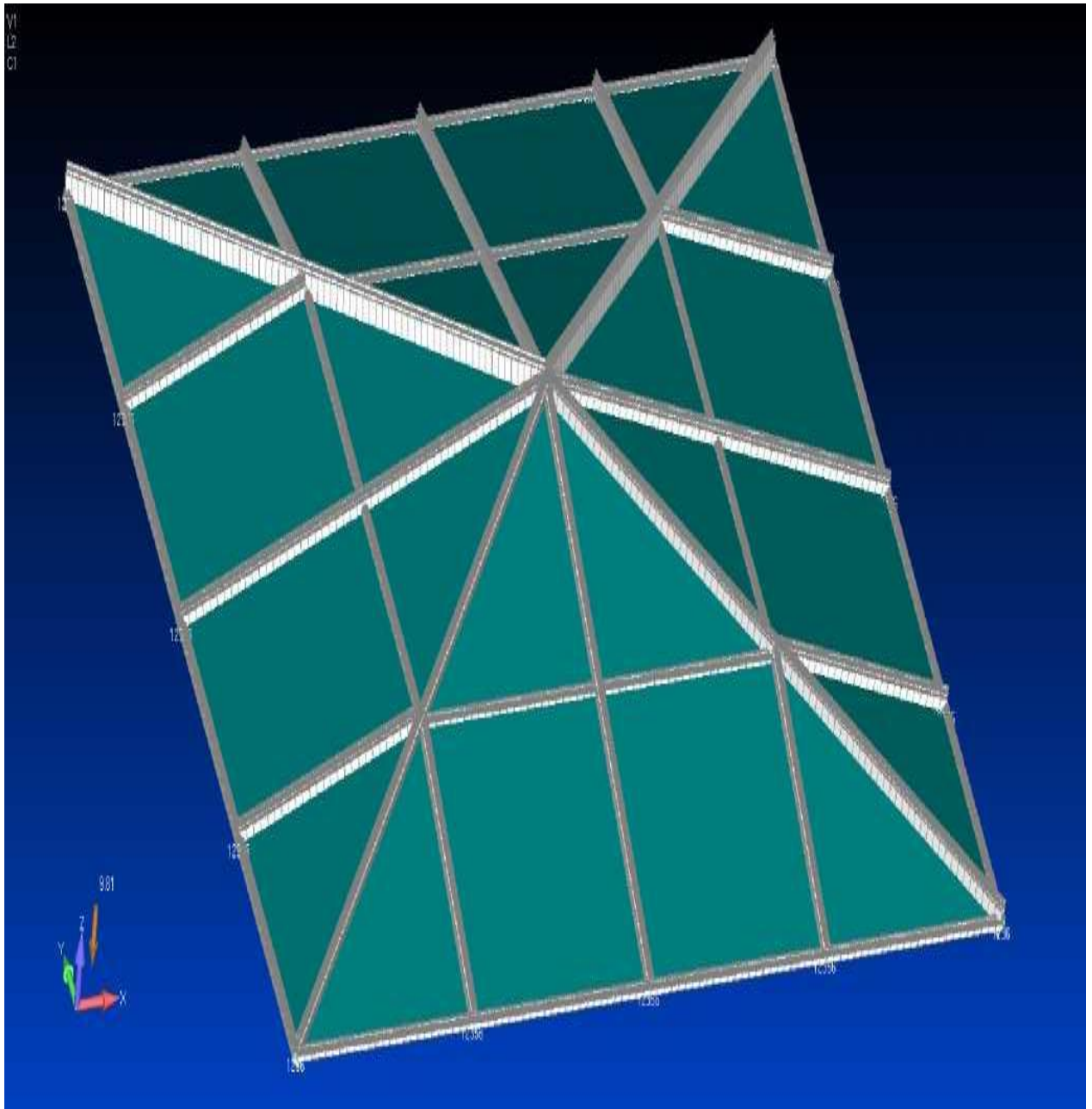


Рисунок 3.26 - Розрахункова модель просторового каркасу покриття

За результатами розрахунків отримано мозаїку згинальних моментів у стрижнях каркасу (Рис. 3.27). Стійки: $M_{\max}=2328096$ нмм., Ригелі:

$M_{\max}=1044688$ нмм.

Мал. 3.21. ІПС. Згинальні моменти в елементах каркасу, нмм.

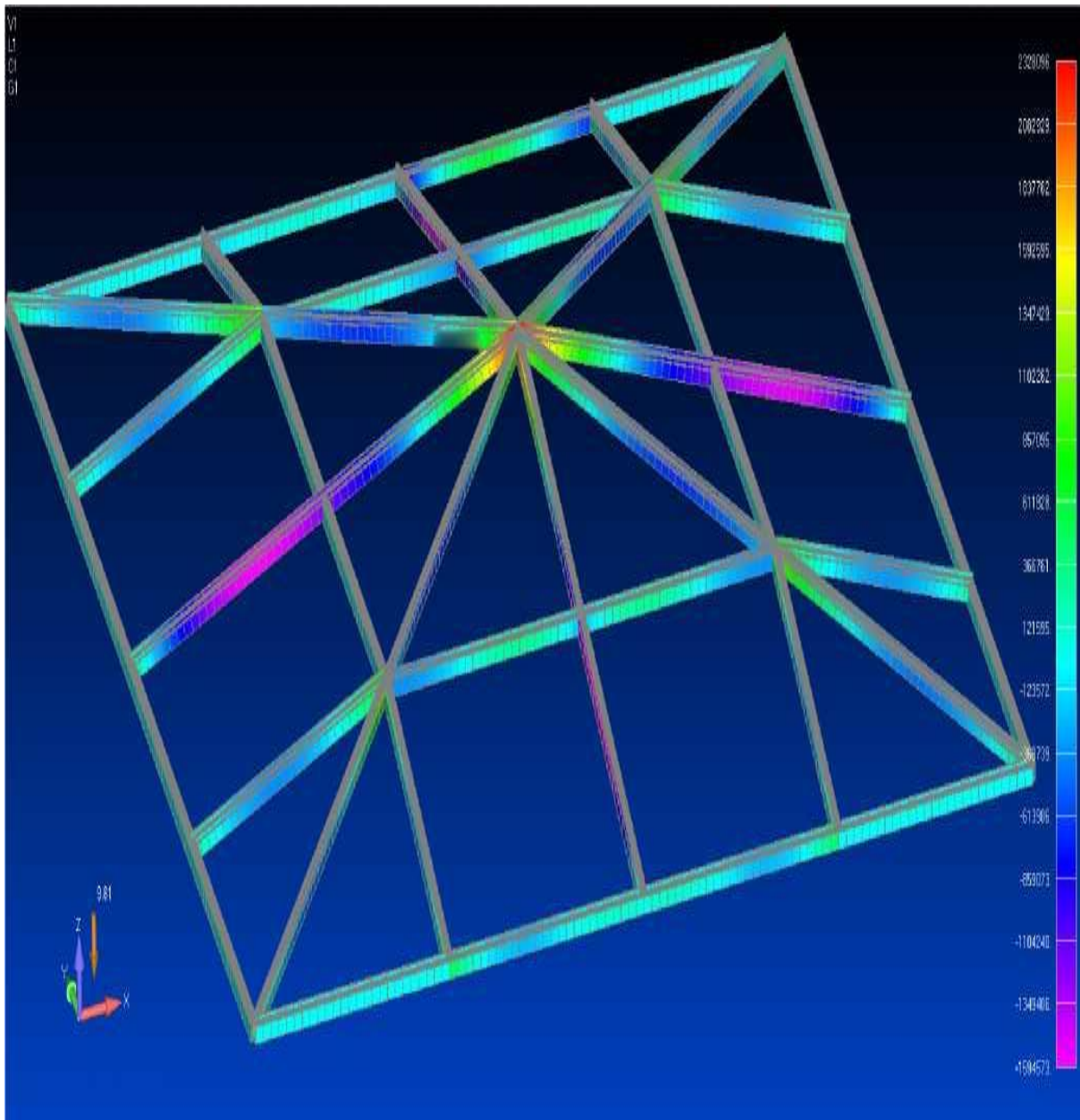


Рисунок 3.27 – І ПС. Згинальні моменти в елементах каркасу, нмм.

Оцінка міцності елементів каркасу проводиться за максимальним напруженням у стрижнях каркасу покриття (рис. 3.28) виходячи з умови:

$$\sigma_{\max} \leq R_y * Y_c = 134,8 \text{ МПа.}$$

Напруги у стійках каркасу: $\sigma_{\max} = 114,6 \text{ МПа.}$

Напруги у ригелях каркаса: $\sigma_{\max} = 88,1 \text{ МПа.}$

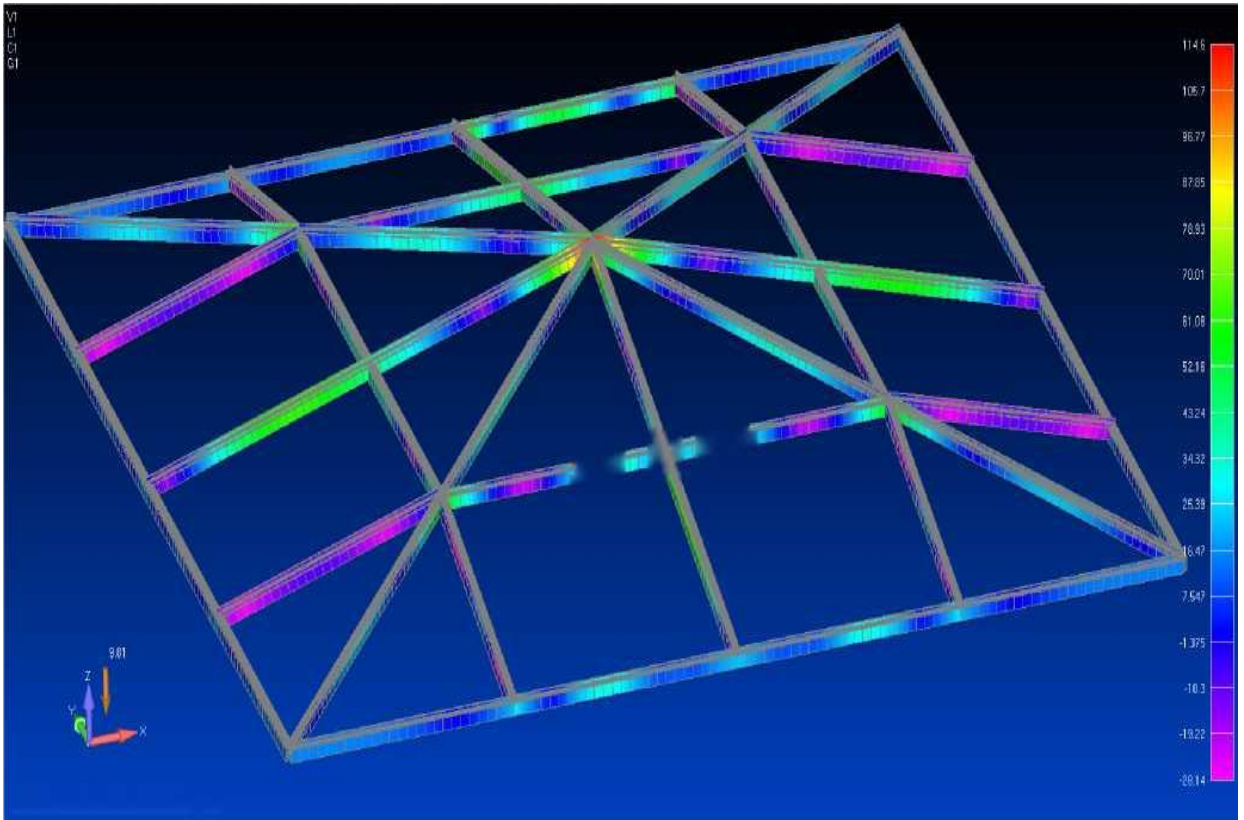


Рисунок 3.28 - I ПС. Напруги σ елементах каркаса покриття, МПа. Оцінка стійкості плоскої форми деформування каркасу (Рис. 3.29) провадиться з умови: $q_{\text{кри}} = 6,79q \geq q_{\text{у кри}} = q * 1,3$

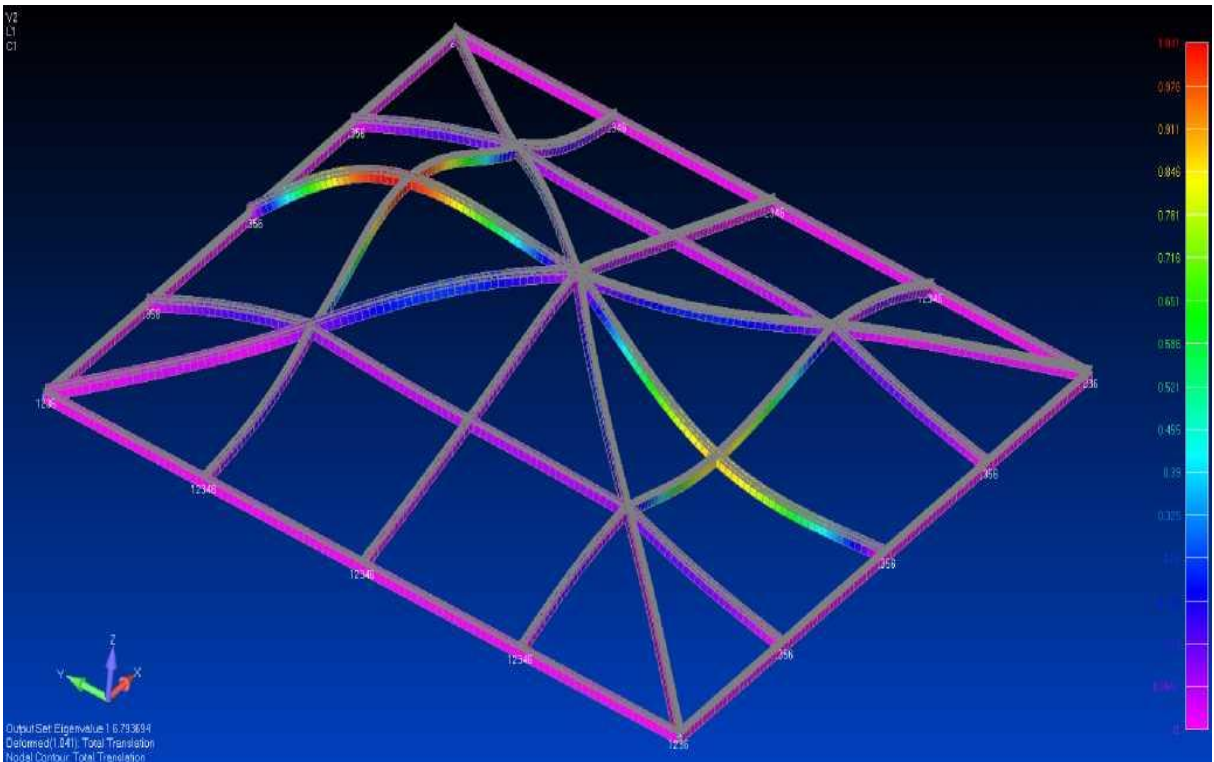


Рисунок 3.29. I ПС. Перша форма втрати стійкості каркасу покриття

Оцінка за II групою граничних станів елементів просторового каркаса покриття (Рис. 3.30) проводиться з умови забезпечення фактичної деформації меншою за допустиму:

$$f \leq f_u$$

Деформації для стійок становитимуть: $f=12,01$ мм. $\cdot < f_u = \frac{L}{200} = 15,5$ мм.

Деформації для ригелів становлять: $f=2,1$ мм. $\cdot < f_u = \frac{L}{250} = 6$ мм.

Деформації стійок без відображення ригелів зображені на рис. 3.31.

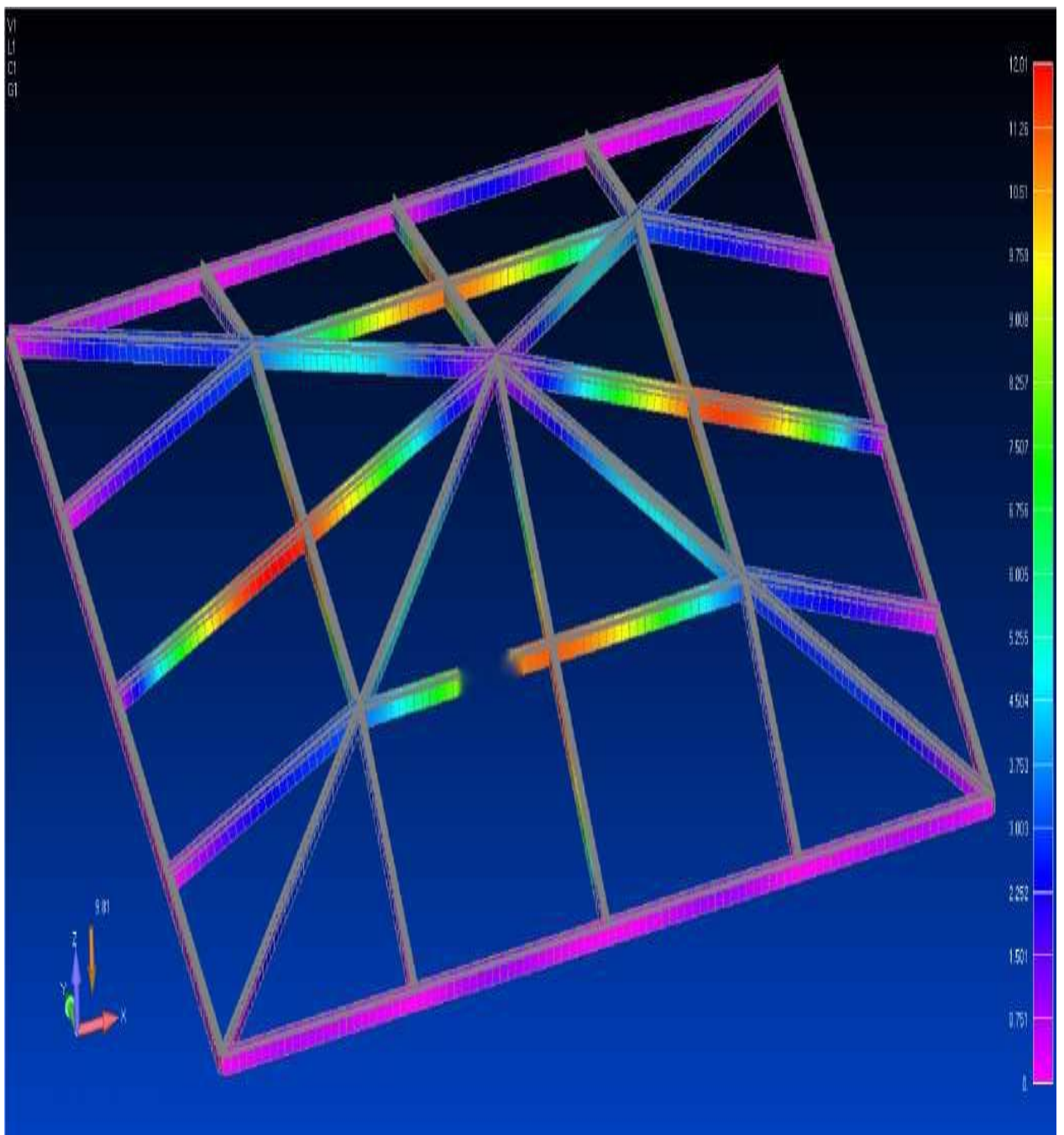


Рисунок 3.30. -II ПС. Деформації стійок каркасу покриття, мм

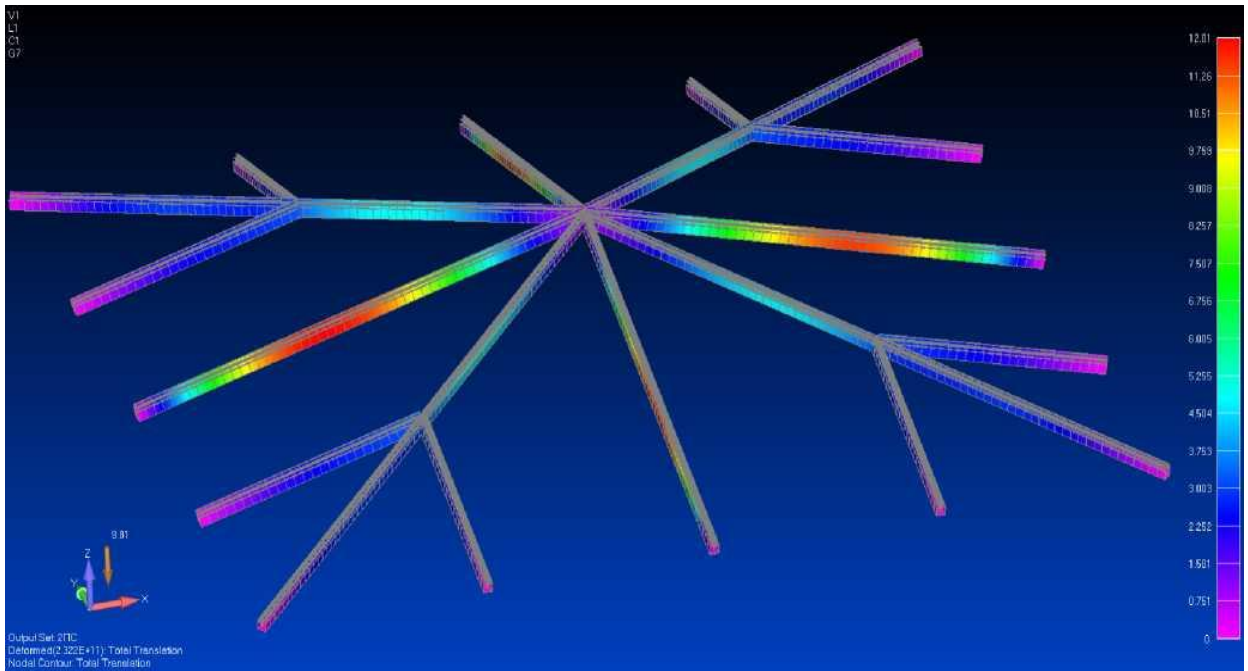


Рисунок 3.31. П ПС. Деформації стійок каркасу покриття, мм.

Результати розрахунку МКЕ покриття «Піраміда» $\alpha=30^{\circ}$. Схема 6.

Розрахункова схема просторового каркаса (Рис.3.32) виконана стрижневими та пластинчастими елементами. Задано заборони переміщень та поворотів в опорних вузлах стійок TX, TY, TZ, UX, UY, UZ залежно від розташування на межі піраміди.

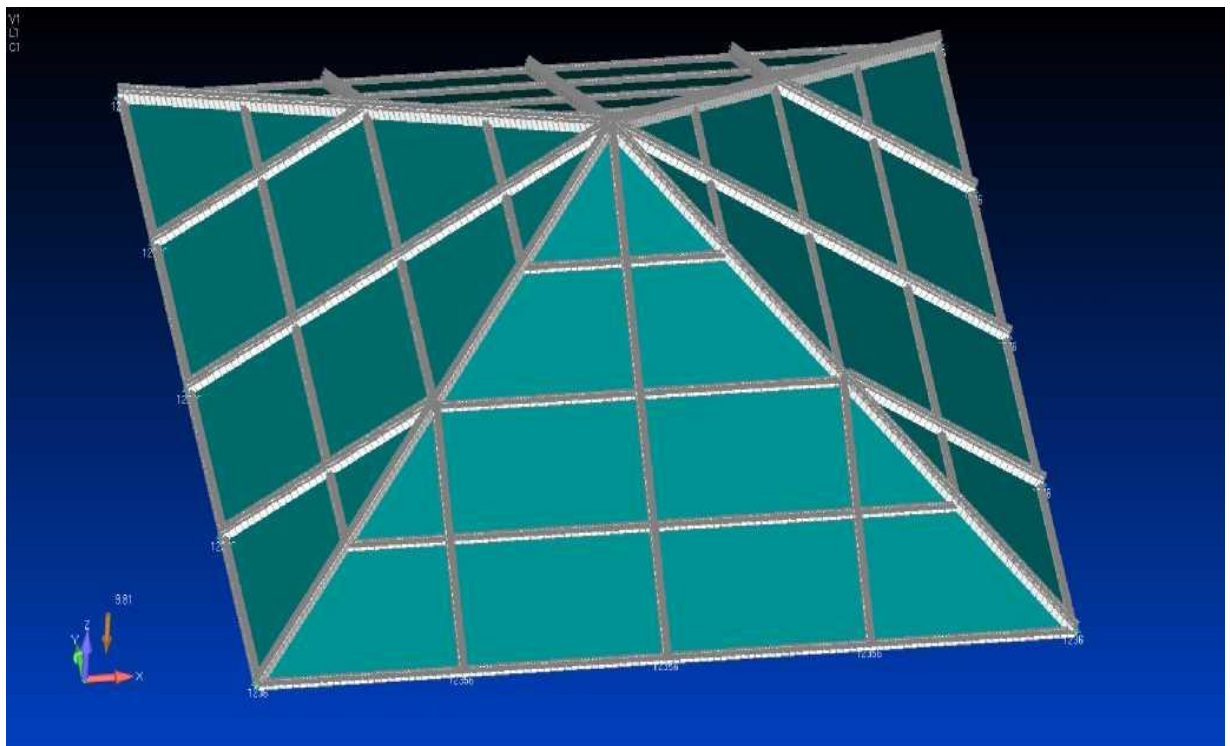


Рисунок 3.32 - Розрахункова модель просторового каркасу покриття

По результатам расчетов получена мозаика изгибающих моментов в стержнях каркаса (Рис. 3.33). Стойки: $M_{max}=2662008$ нмм., Ригели: $M_{max}=763095$ н-мм.

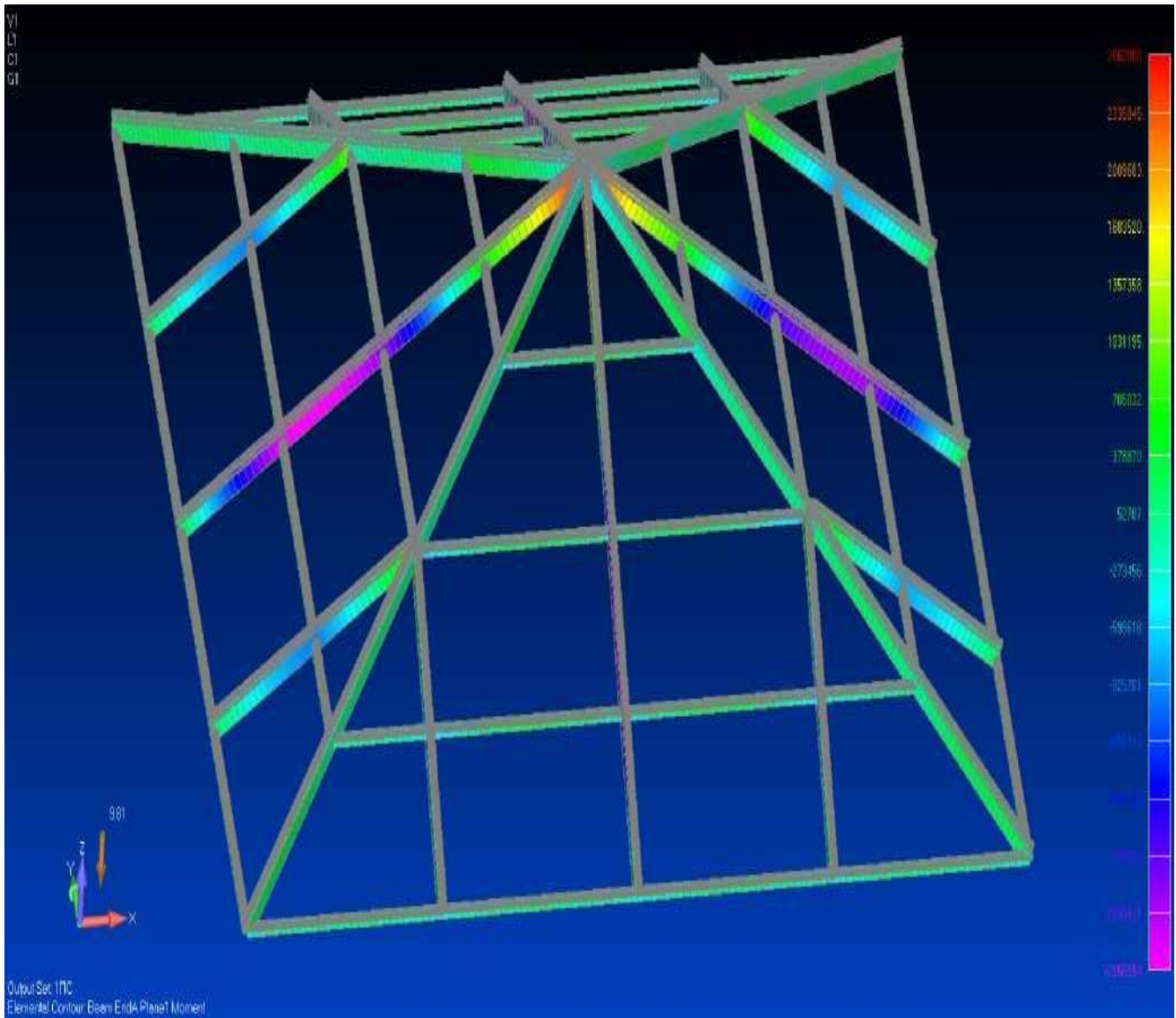


Рисунок 3.33 - ППС. Згинальні моменти в елементах каркасу, нмм.

Оцінка міцності елементів каркасу проводиться за максимальним напруженням у стрижнях каркасу покриття (рис. 3.34) виходячи з умови:

$$\sigma_{\max} \leq R_y * Y_c = 134,8 \text{ МПа.}$$

Напруги у стійках каркасу: $\sigma_{\max} = 73,4$ МПа.

Напруги у ригелях каркаса: $\sigma_{\max} = 115,2$ МПа.

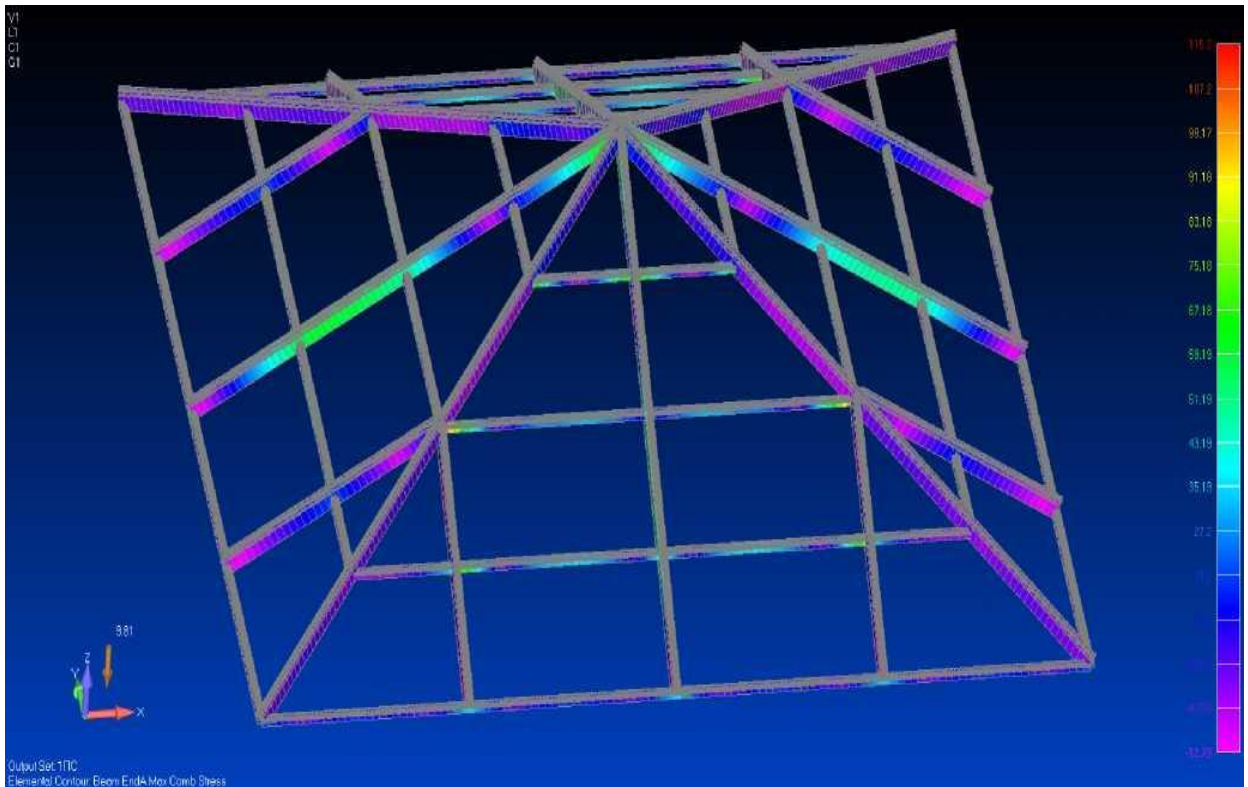


Рисунок 3.34 - І ПС. Напруги σ елементах каркаса покриття, МПа. Оцінка стійкості плоскої форми деформування каркасу (Рис. 3.35) провадиться з умови:

$$q_{\text{кри}} = 15,32q \geq q_{\text{у кри}} = q * 1,3$$

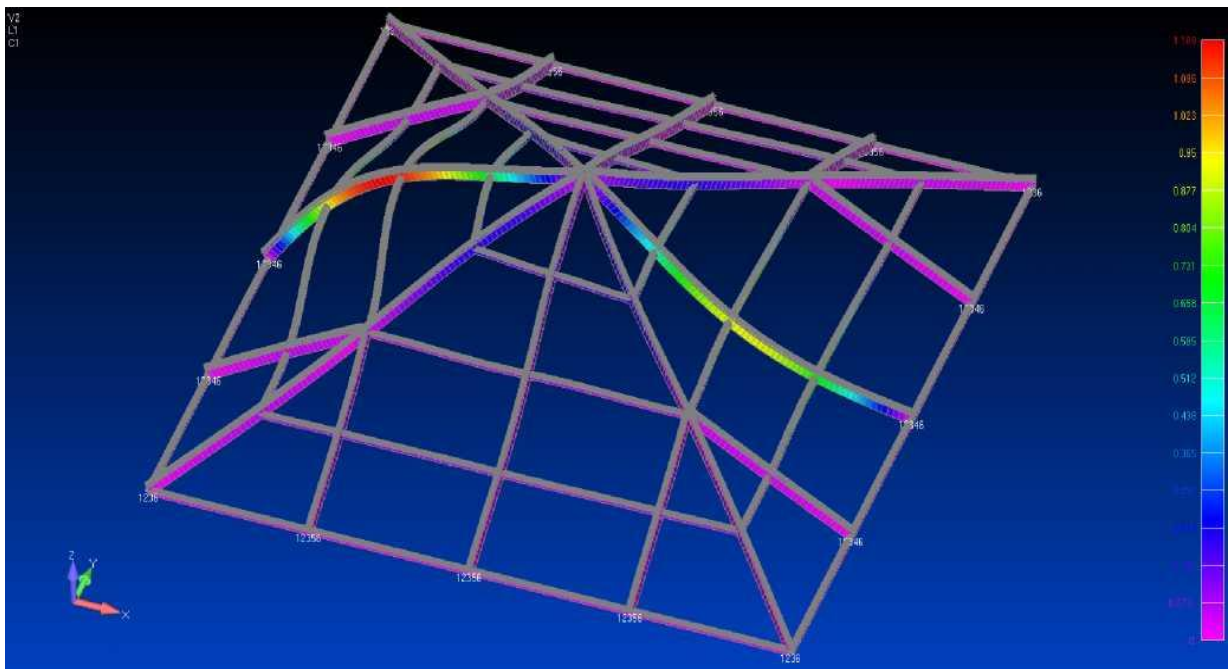


Рисунок 3.35 - І ПС. Перша форма втрати стійкості каркасу покриття.

Оцінка за II групою граничних станів елементів просторового каркасу покриття (Рис. 3.36) проводиться з умови забезпечення фактичної деформації меншою за допустиму:

$$f \leq f_u$$

Деформації для стійок становлять: $f = 9,4 \text{ мм.} < f_u = \frac{L}{200} = 17,3 \text{ мм.}$

Деформації для ригелів становлять: $f = 2,3 \text{ мм.} < f_u = \frac{L}{250} = 6 \text{ мм.}$

Деформації стійок без відображення ригелів зображені на рис. 3.37.

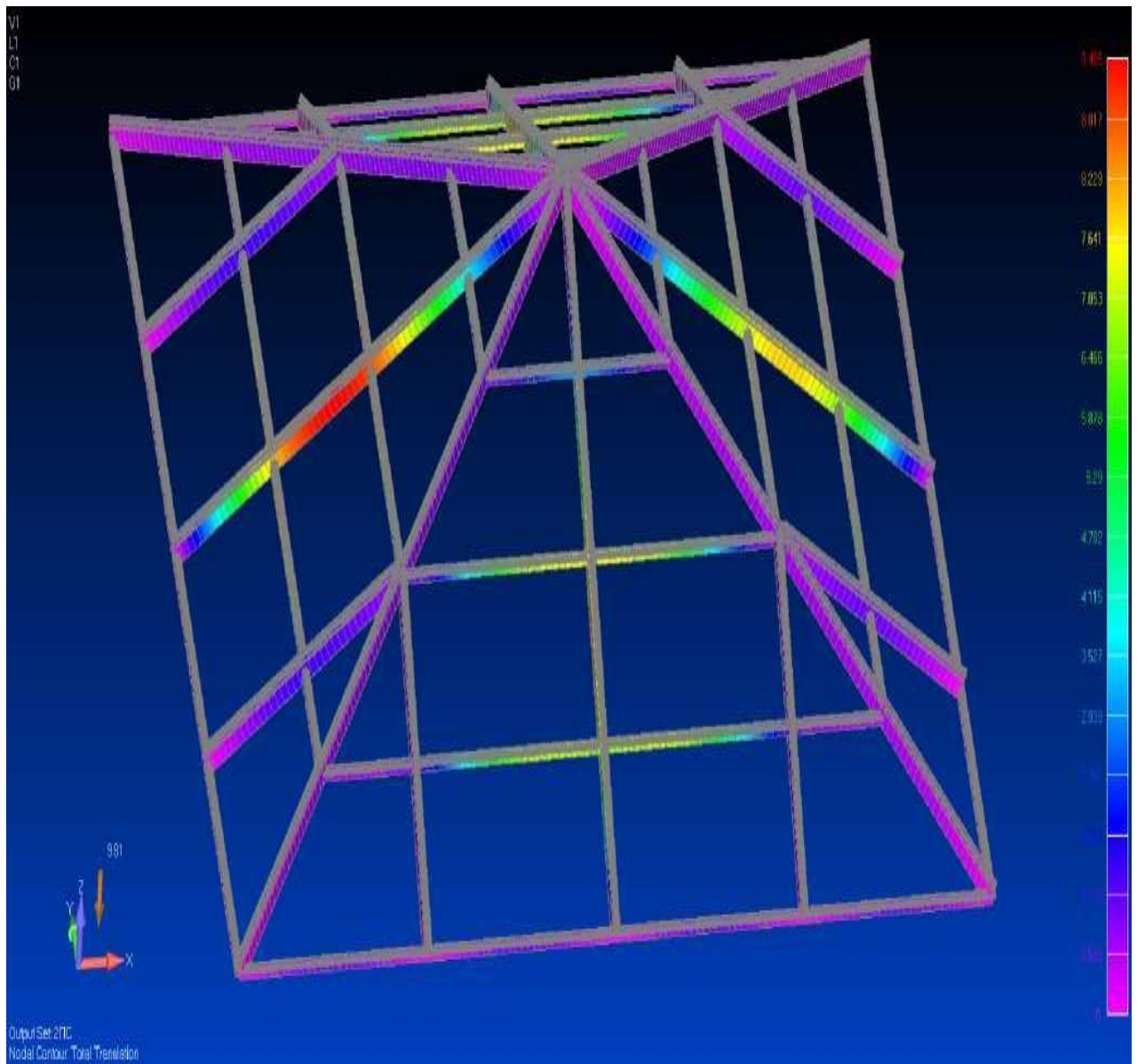


Рисунок 3.36 - II ПС. Деформація елементів каркасу покриття, мм.

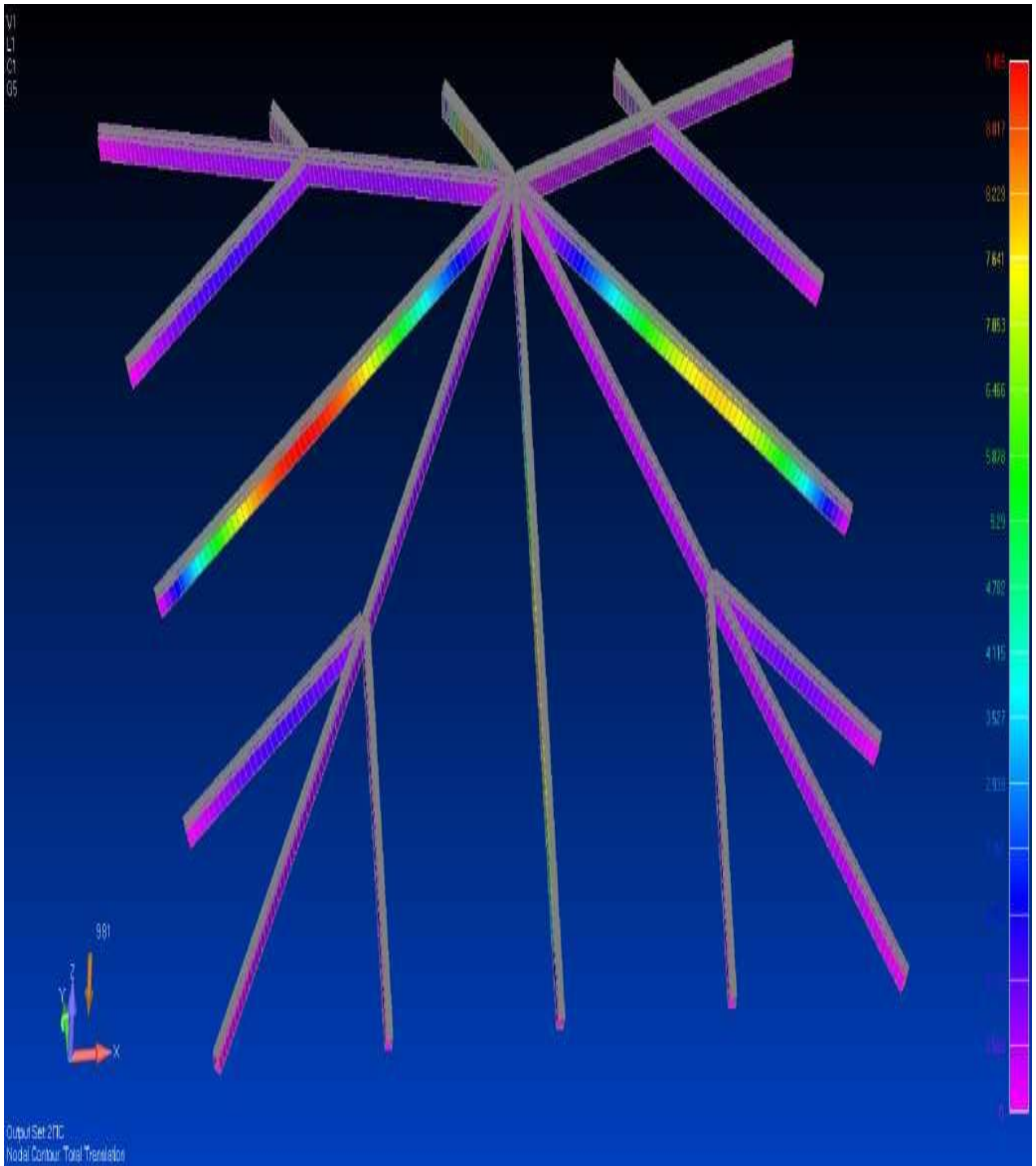


Рисунок 3.37 - П ПС. Деформації стійок каркасу покриття, мм.

Результати розрахунку МКЕ покриття "Піраміда" $\alpha=45^0$. Схема 7.

Розрахункова схема просторового каркаса (Рис.3.32) виконана стрижневими та пластинчастими елементами. Задано заборони переміщень та поворотів в опорних вузлах стійок TX, TY, TZ, UX, UY, UZ залежно від розташування на межі піраміди.

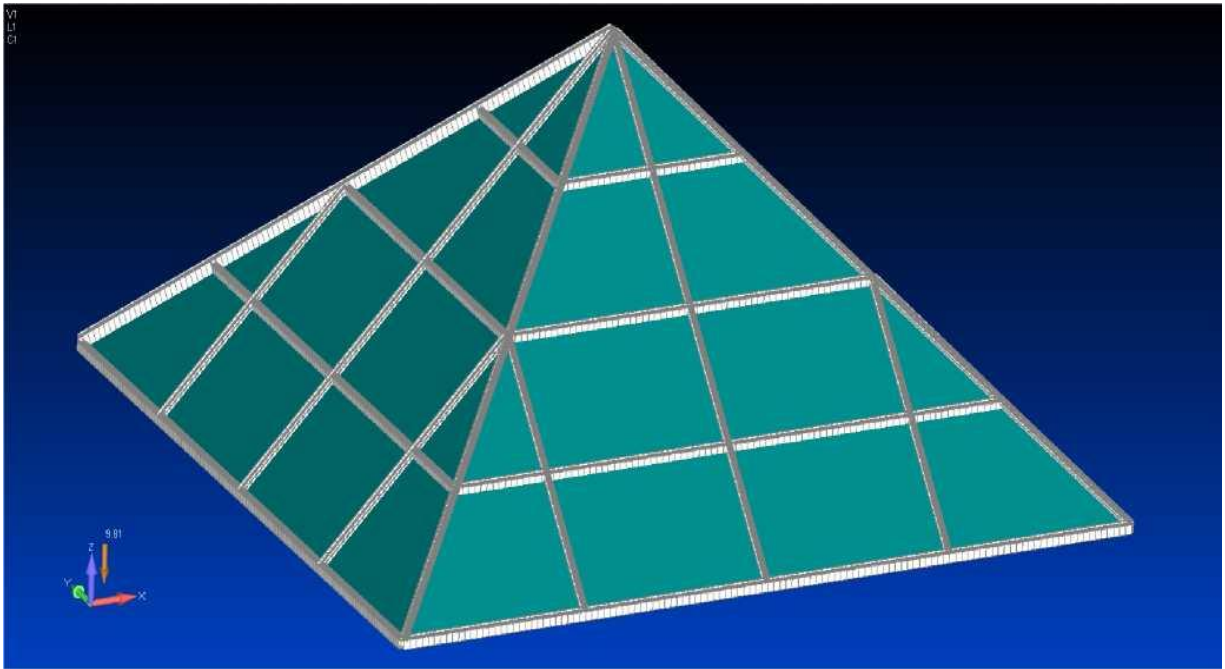


Рисунок 3.38 - Розрахункова модель просторового каркасу покриття

За результатами розрахунків отримано мозаїку згинальних моментів у стрижнях каркасу (Рис. 3.39). Стійки: $M_{\max}=1639828$ нмм., Ригелі: $M_{\max}=1221953$ нмм.

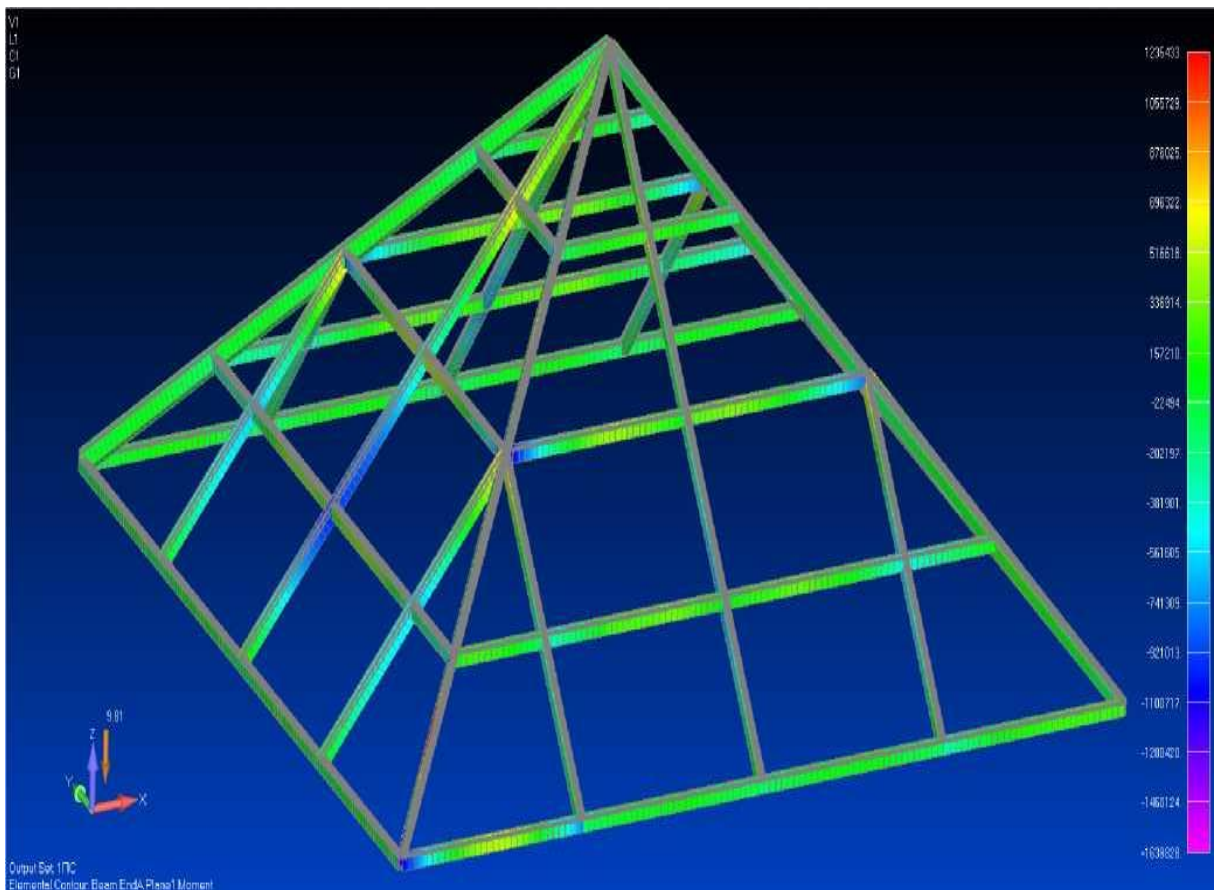


Рисунок 3.39. ПС. Згинальні моменти в елементах каркасу, нмм.

Оцінка міцності елементів каркасу проводиться за максимальним напруженням у стрижнях каркасу покриття (рис. 3.40) виходячи з умови:

$$\sigma_{\max} \leq R_y * Y_c = 134,8 \text{ МПа.}$$

Напруги у стійках каркасу: $\sigma_{\max} = 111,6 \text{ МПа.}$

Напруги у ригелях каркаса: $\sigma_{\max} = 78,05 \text{ МПа.}$

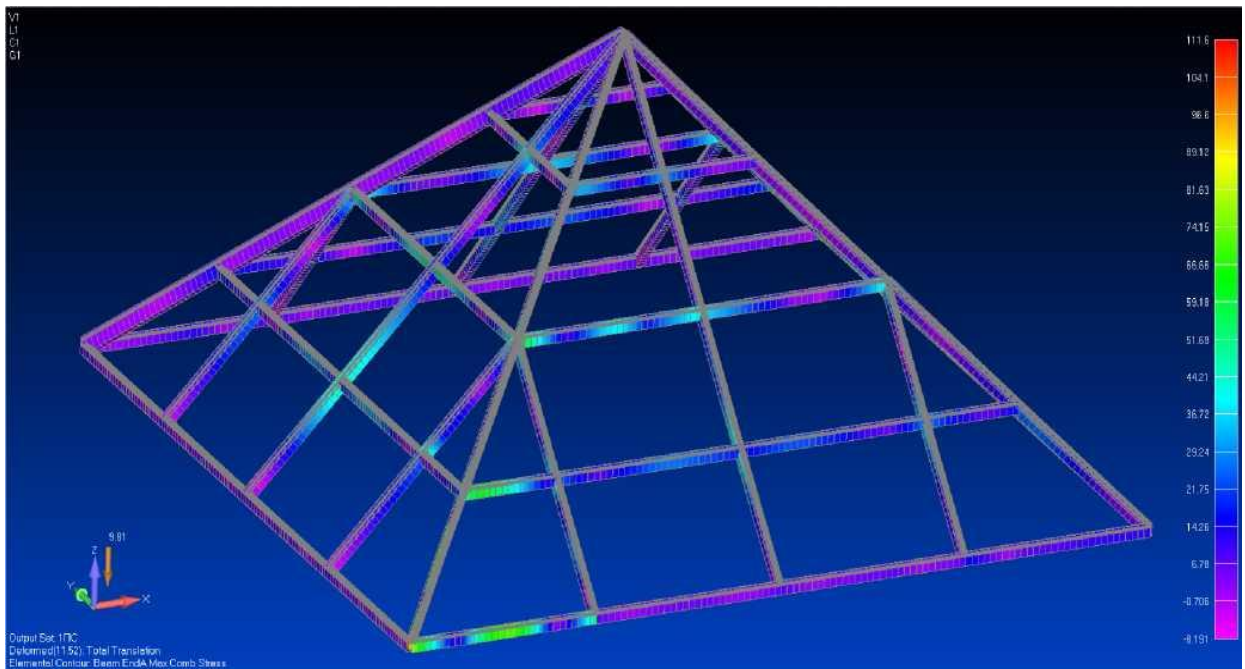


Рисунок 3.41- I ПС. Напруги σ елементах каркаса покриття, МПа.

Оцінка стійкості плоскої форми деформування каркасу (Рис. 3.41) проводиться з умови: $q_{\text{кри}} = 22,18 \text{ q} \geq q_{\text{у кри}} = q * 1,3$

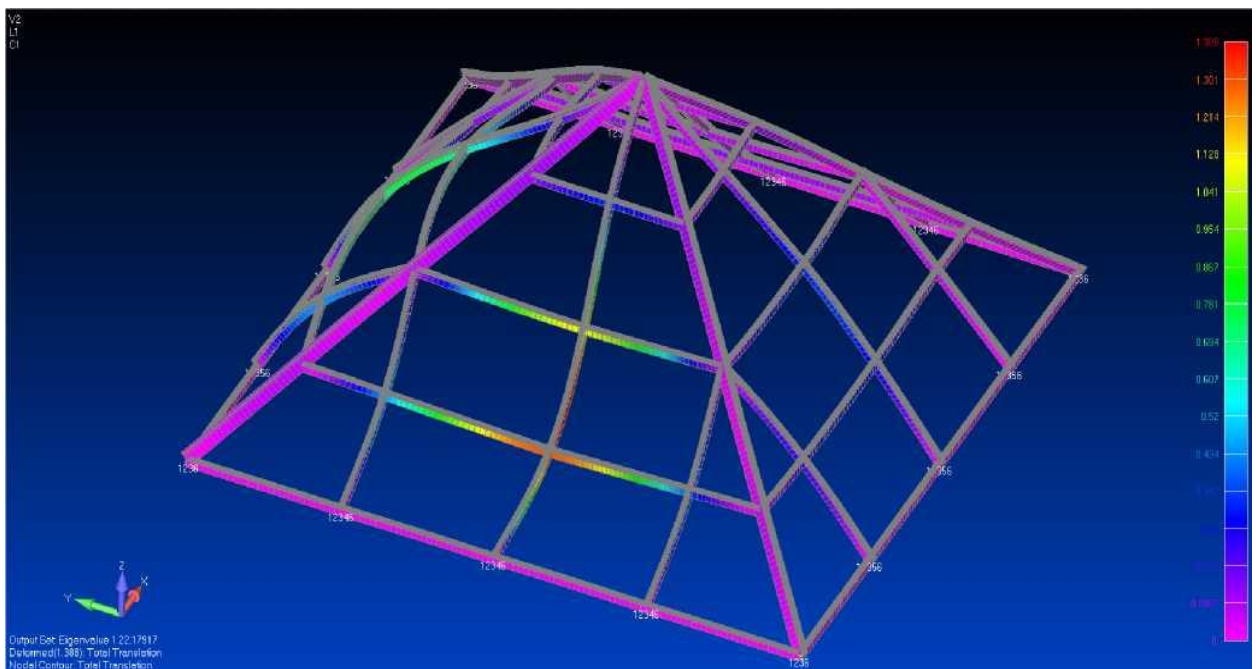


Рис. 3.41. I ПС. Первая форма потери устойчивости каркаса покриття.

Оцінка за II групою граничних станів елементів просторового каркасу покриття (Рис. 3.42) проводиться з умови забезпечення фактичної деформації меншою за допустиму:

$$f \leq f_u$$

Деформації для стійок становлять: $f = 8,02 \text{ мм.} < f_u = \frac{L}{200} = 20,5 \text{ мм.}$

Деформації для ригелів становлять: $f = 2,15 \text{ мм.} < f_u = \frac{L}{250} = 6 \text{ мм.}$

Деформації стійок без відображення ригелів зображені на рис. 3.43.

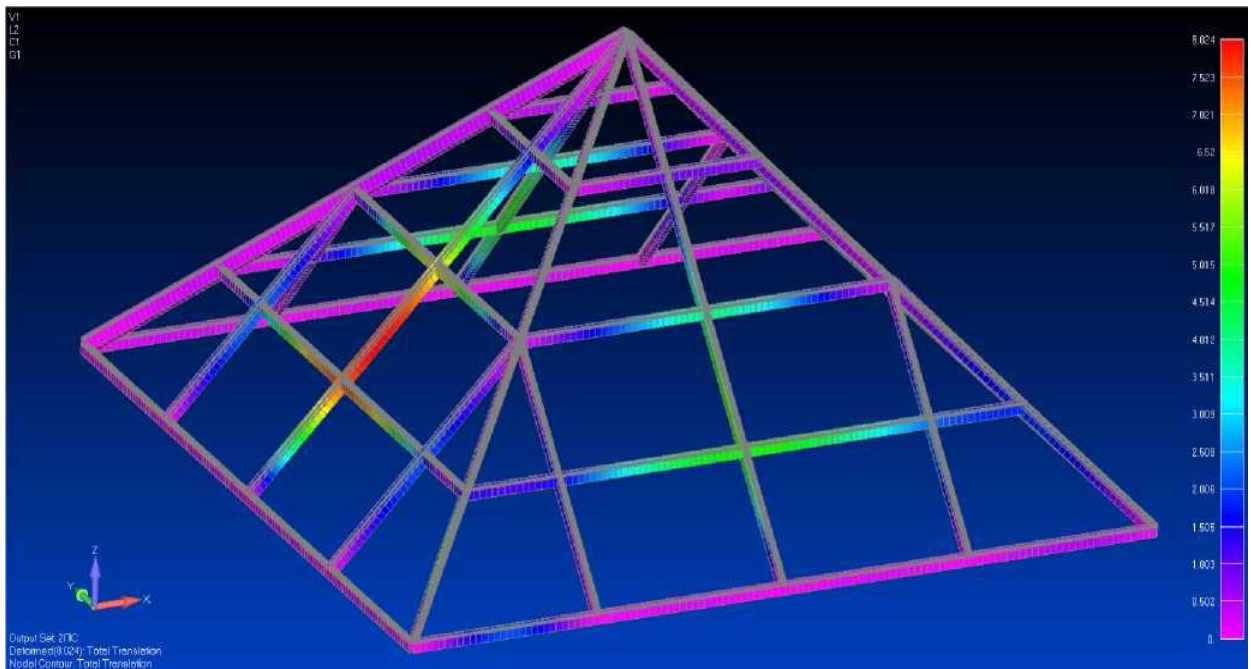


Рисунок 3.42 - II ПС. Деформація елементів каркасу покриття, мм.

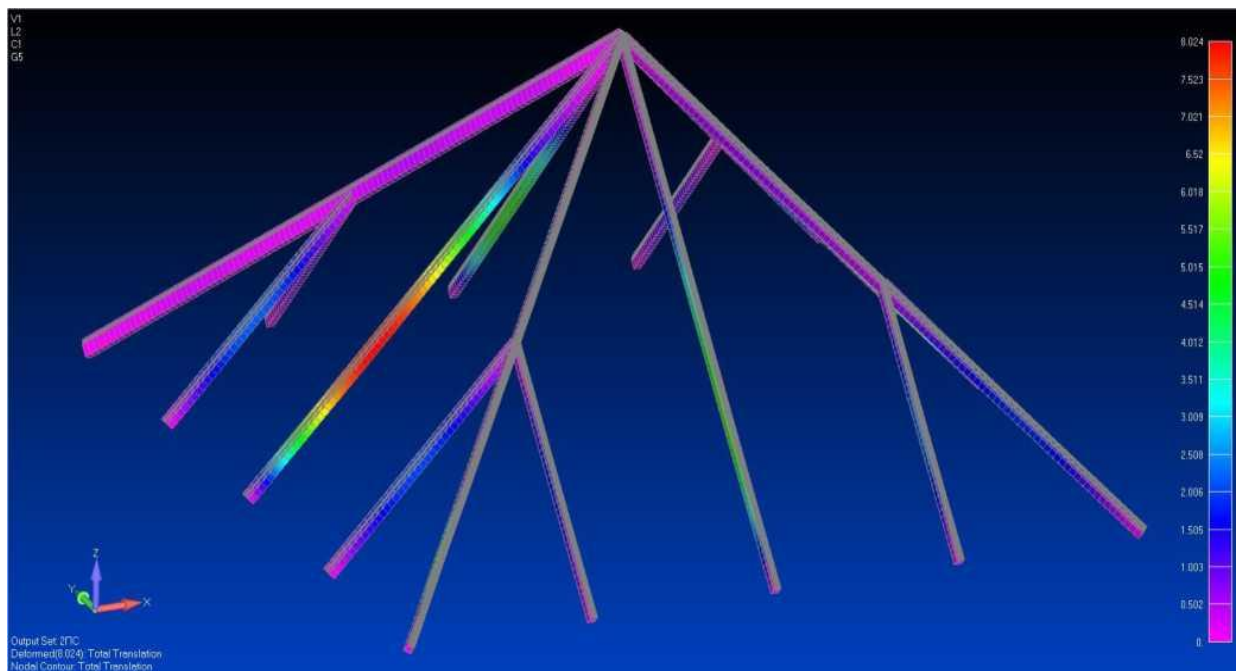


Рисунок 3.43. -II ПС. Деформації стійок каркасу покриття, мм.

3.7 Аналіз результатів розрахунків МКЕ

За результатами розрахунків просторових стрижневих моделей семи конструктивних схем світлопрозорих покриттів були підібрані оптимальні перерізи стійок і ригелів. Для визначення ефективності конструктивної схеми проведено аналіз отриманих результатів щодо використання несучої здатності, металоємності елементів каркасу, а також вартості конструкцій. Для проведення аналізу ефективності конструктивних схем використано характеристики та вартість алюмінієвих профілів (Табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Характеристики алюмінієвих профілів системи ТПСК-60500

	ТПСК 60512	ТПСК 60513	ТПСК 60514	ТПСК 60515	ТПСК 60532	ТПСК 60533	ТПСК 60534	ТПСК 60535
Площа перерізу, мм ²	897	1092	1332	1744	658,5	807	801	745
Вага 1 м.п., кг	2,43	2,96	3,61	4,73	1,78	2,19	2,17	2,02
I_x , см ⁴	100,44	243,94	629,36	1137,8	20,27	80	82,16	54,88
W_x , см ³	17,75	32,6	61,52	91,46	6,33	16,33	16,1	12,76
I_y , см ⁴	32,47	45,71	65,91	98,64	21,64	34,11	28,77	24,05
W_y , см ³	10,82	15,24	21,97	32,34	7,21	11,37	9,59	8,02
i_x , см	3,35	4,72	6,87	8,08	1,75	3,15	3,2	2,7
i_y , см	1,9	2,05	2,22	2,38	1,8	2,06	1,9	1,8

Висота перерізу, мм	106,5	141,5	201,5	241,5	58,5	95,5	100	86
Вартість 1 м.п., грн.	906	1096	1334	1616	668	815	830	774

Результати аналізу розділені за типами покриттів виходячи з форми в плані та відображені у табличному вигляді: -для покриття прямокутної у плані форми (табл. 3.2); -для покриття квадратної у плані форми (табл. 3.3).

Таблиця 3.2 - Результати аналізу розрахунків прямокутного щодо покриття

№ схеми	1	2	3	4
Стійки	ТПСК-60513	ТПСК-60514	ТПСК-60513	ТПСК-60512
Крайні стійки	ТПСК-60512	ТПСК-60512	ТПСК-60512	ТПСК-60512
Рігелі	ТПСК-60532	ТПСК-60532	ТПСК-60532	ТПСК-60533
Коефіцієнт використання за I ПС	0,86	0,89	0,96	0,92
Коефіцієнт використання за II ПС	0,73	0,78	0,93	0,67
Загальна вага каркасу, кг	327	391	398	440
Вартість каркасу, грн.	121250	144826	147894	164124

Таблиця 3.3 - Результати аналізу розрахунків квадратного у плані покриття

№ схеми	5	6	7
Стійки	ТПСК-60512	ТПСК-60513	ТПСК-60512
Стійки по ребрах	ТПСК-60512	ТПСК-60513	ТПСК-60513
Рігелі	ТПСК-60532	ТПСК-60533	ТПСК-60533
Коефіцієнт використання за I ПС	0,86	0,85	0,83
Коефіцієнт використання за II ПС	0,77	0,55	0,39
Загальна вага каркасу, кг	168,6	274,9	276,2
Вартість каркасу, грн.	63006	102047	102720

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1) На підставі вивчених джерел виконано огляд особливостей проектування та розрахунку світлопрозорих покриттів на самонесучих каркасах з алюмінієвих пресованих профілів.

2) Вивчено виробники алюмінієвих профільних систем для світлопрозорих покриттів.

3) Розглянуто 7 варіантів конструктивних схем світлопрозорих покриттів (4 варіанти для прямокутного в плані, і 3 варіанти для квадратного в плані покриттів). Наведено їх конструктивні особливості та відмінності у визначенні діючих навантажень. Основний вплив на конструкцію надає снігове навантаження та власна вага світлопрозорого заповнення. Вітрові навантаження впливають на конструкції мають незначний вплив.

4) На основі наведеної методики розрахунку аналітичним методом отримані вирази для визначення граничних розмірів стійок і ригелів, залежно від їх кроку і навантажень, що діють, за граничними станами I і II груп.

5) Проведено розрахунки та аналіз роботи в напружено-деформованому стані семи моделей конструктивних схем просторових світлопрозорих покриттів методом кінцевих елементів. За результатами аналізу виявлено:

- найбільш ефективно для прямокутного в плані покриття використовуються конструкції в схемі №3 (двосхилий покриття з $\alpha = 45^\circ$). Коефіцієнт використання досягає 0.96.

- найефективніше для квадратного у плані покриття використовуються конструкції у схемі №5 (піраміда з $\alpha=15^\circ$).

Коефіцієнт використання досягає 0.86.

- для прямокутного в плані покриття найменшою вагою каркаса має конструктивна схема №1.

- для квадратного у плані покриття найменшою вагою каркаса має конструктивна схема №5.

- для прямокутного щодо покриття найменша вартість каркаса у конструктивної схеми №1.

для квадратного у плані покриття найменша вартість каркасу у конструктивної схеми №5.

6) Зроблені розрахунки просторово-стрижневих моделей МКЕ конструкцій на міцність, стійкість і деформативність показують, що конструкція має значні запаси в порівнянні з аналітичним методом розрахунку. Це пов'язано з спільністю роботи всього каркаса.

7) На основі отриманих виразів складено графіки для попереднього підбору перерізів елементів стійково-ригельного каркасу в залежності від їх кроку та снігового району.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Лялюк О. Г. Дослідження ефективності будівництва енергозберігаючого покриття / Лялюк О. Г., Закусило М. В. // Тези міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України», м. Вінниця, 13.11.2019 - [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2019/paper/view/8331>.
2. Щодо пріоритетів реалізації державної політики енергоефективності [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/>
3. Лялюк О. Г. Аналіз застосування енергоефективних покривель // Лялюк О. Г., Закусило М. В. // Тези конференції ВНТУ, електронні наукові видання, «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи 2020», м. Вінниця, 5.10.2017 - [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/view/8572>
4. Ковальський В. П. Ландшафтний дизайн прилеглої території дошкільних навчальних закладів [Текст] / В. П. Ковальський, Г. І. Лисій // XI Міжнародної науково-практичної конференції «Тенденції сучасної науки –2016», 30.05 – 07.06.2016 . - Science and Education Ltd : Nauka I studia, 2010. - С. 60-64.
5. Ковальський В. П. Комплексні принципи формування архітектурно-планувальних рішень дошкільних навчальних закладів [Електронний ресурс] / В. П. Ковальський, Г. І. Лисій // Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2018), 02 січня-06 червня 2018 р. : збірник матеріалів. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2018/paper/view/3693>.
6. Лисій Г. І. Формування архітектурного середовища дошкільних навчальних закладів [Електронний ресурс] / Г. І. Лисій // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22-24 березня 2017 р.
7. Покриття будівель і споруд : ДБН В.2.6-220:2017 - [Чинний від 2017-06-06]. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 53 с. 8. Будівельні матеріали.

Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Загальні технічні умови: ДСТУ Б.В.2.7-108:2001 - [Чинний від 2002-01-01]. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 53 с

8. Будівельні матеріали. Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Загальні технічні умови: ДСТУ Б.В.2.7-108:2001 - [Чинний від 2002-01-01]. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 53 с.

9. Гетун Г. В. Архітектура будівель та споруд. Книга 1. Основи проектування: підручник [Текст] / К.: Кондор, 2011 р. - 378 с.

10. Архітектура будівель та споруд. Книга 2. Житлові будинки: Підручник [Текст] / В.О.Плоский, Г.В. Гетун, 2015 р. – 617 с.

11. Архитектурные конструкции (под редакцией З. А. Казбек-Казиева) [Текст] / М.: Архитектура-С, 2006. – 344 с.

12. Архитектурные конструкции гражданских зданий [Текст] / С. Б. Дехтярь и др. – К.: Будівельник, 1988. – 240 с.

13. Благовещенский Ф. А., Букина Е. Ф. Архитектурные конструкции [Текст] / М.: Архитектура-С, 2011. – 232 с.

14. Бойко Х. С. Типи будинків та архітектурні конструкції: навч. посібник [Текст] / Х. С. Бойко. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 194 с.

15. Конструкции гражданских зданий (под. ред. М. С. Туполева) [Текст] / М.: Стройиздат, 1973. – 240 с.

16. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції [Текст] / За ред. Ф.Є. Клименка: Підр. – 2ге вид., випр. і доп – Львів: Світ, 2002. – 312 с.

17. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів [Текст] / Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В., Білик С.І., Лавріненко Л.І., Белов І.Д., Володимирський В.О. Видання 2-е, перероблене і доповнене Підзагальною редакцією О.О. Нілова та О.В. Шимановського. К.: Сталь, 2010. — 869 с.

18. Світлопрозорі огороження будинків [Текст] / О. Л. Підгорний, І. М. Щепетова, О. В. Сергейчук та інші. – К.: Вид. Домашевська О. А., 2005. - 282 с.

19. ДБН В.1.1.7–2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К.: ДержбудУкраїни, 2003. – 44 с.
20. ДБН В.2.2 – 15 – 2005. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. – К.: Держбуд України, 2005 . – 36 с.
21. ДБН В.2.2-9-99. Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 46 с.
22. ДБН В.2.2-13-2003. Будинки і споруди. Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди. – К.: Держ. ком. України з буд. та арх., 2004 – 105 с.
23. ДБН В.2.2-16-2005. Будинки і споруди. Культурно-видовищні та дозвіллеві заклади. – К.: Держбуд України, 2005 – 65 с.
24. ДБН В.2.5. – 28 – 2006. Природне і штучне освітлення. – К.: Мінбуд України, 2006. – 76 с.
25. ДБН В.2.6–31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель.– К.: Мінбуд України, 2006. – 64 с.
26. ДБН В.2.6-33:2008. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації. Мінрегіонбуд України, Київ, 2009.
27. ДК 018-2000. Державний класифікатор будівель та споруд. – К.: Держстандарт України, 2000. – 59 с.
28. ДСТУ Б А.2.4-7-99. Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень. – К.: Держкомбуд України, 1999. – 57 с.
29. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2011. Будівельна кліматологія. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127
30. Вплив перфорації легких сталевих тонкостінних профілів на теплофізичні характеристики огорожувальних конструкцій / В. В. Чернявський, В. О. Семко, О. І. Юрін, Д. А. Прохоренко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Випуск 1(29). – Полтава : ПолтНТУ. – 2011. – С. 194–199.
31. Фаренюк Г. Г. Методологічні аспекти забезпечення енергоефективності та теплової надійності будинків / Г. Г. Фаренюк

//Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Вып. 50, – Днепропетровск : ГВУЗ ПГАСА, 2009. – С. 593–597.

32.Методика визначення ймовірності теплової відмови огорожувальних конструкцій із сталевих холодноформованих елементів за теплотехнічними показниками / В. О. Семко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Днепр : ПГАСА, 2016. – Вып. 91. – С. 140–147.

33. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель / В. А. Пашинський, Н. В. Пушкар, А. М. Карюк. – Одеса : ОДАБА, 2012. – 180 с.

34. Теплотехнічні властивості огорожувальних конструкцій із замкнутими повітряними прошарками : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / Гирман Лілія Віталіївна. – Полтава, 2011. – 172 с. – Бібліогр. : с. 143–154.

35. Пічугін С. Ф. Імовірність теплової відмови огорожувальних конструкцій із сталевих холодноформованих елементів за критерієм зниження локальних значень температур / С. Ф. Пічугін, В. О. Семко // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Вип. 160. – Харків, 2016. – С. 25–34

36.Лещенко М. В. Теплотехнічні властивості стінових огорожувальних конструкцій із сталевих тонкостінних профілів та полістиролбетону /М. В.Лещенко, В. О. Семко // Інженерно-будівельний журнал, 2015. - №8. – С. 44–55.

37. Семко В. О. Метод підвищення енергоефективності стінових огорожувальних конструкцій із ЛСТК та полістиролбетону / В. О. Семко, Ю. О. Авраменко, М. В. Лещенко // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: зб. наук. тр. - Дніпропетровськ: ПДАБА, 2015. - Вип. 82. - С. 205-211.

38. Суміш для виготовлення водостійкого теплозвукоізоляційного матеріалу. Пат. 48181 Україна, МПК С04В 111/00. – № 200909339; Заявл. 11.09.2009; Опубл. 10.03.2010; Бюл. № 5. – 4 с

39.LaBoube R. Frequently Asked Questions Regarding Cold-Formed Steel /R. LaBoube // Structure Magazine. – 2007 – №71. – P. 26–27.

40. Veljkovic M. Light steel framing for residential buildings / M. Veljkovic, B. Johansson // *Thin-Walled Structures*. – 2006. – №44. – P. 1272–1279.

41. Dubina D. Structural analysis and design assisted by testing of cold-formed steel structures / D. Dubina // *Thin-Walled Structures*. – 2008. – №46. – P.741–764