

Форма № Н-9.02

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою
Кафедра будівництва та цивільної інженерії

Пояснювальна записка
до дипломної роботи
магістра

на тему: **Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнutoзварних профілів**

Виконав студент 6 курсу, групи 601БП
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна
інженерія»

Керівник:

д. т. н., професор Семко О.В

Зав. кафедри:

д. т. н., професор Семко О.В

Рецензент:

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1.....	7
1.1 Загальні відомості щодо каркасів виробничих будівель.....	7
1.2 Огляд літератури по темі дослідження.....	23
Висновки за розділом 1.....	26
РОЗДІЛ 2.....	27
2.1. Нормативна база розрахунку сталевих конструкцій. Використання ВІМ-технологій у проектуванні.....	28
2.2. Розрахунок за методом граничних станів.....	29
2.2.1. Порівняння методик розрахунку сталевих конструкцій за Єврокодом та ДБН 30	
2.2.2. Загальні відомості про ВІМ-технології.....	35
2.3. Метод скінченних елементів та обчислювальний комплекс на його основі.....	37
Висновки за розділом 2.....	45
РОЗДІЛ 3.....	46
3.1. Обґрунтування вибору конструктивних схем.....	47
3.2. Компонування конструктивної схеми каркасу.....	49
3.3. Розрахунок сталеві поперечної рами.....	50
3.3.1. Збір навантажень на поперечні рами.....	51
3.3.1.1. Постійне навантаження.....	52
3.3.1.2. Змінні навантаження.....	53
3.3.1.2.1. Навантаження від снігу.....	53
3.3.1.2.2. Навантаження від вітру.....	53
3.3.1.2.3. Зосереджене вітрове навантаження на ригель рами.....	54
3.4. Вибір сталі для проектування.....	55
3.5. Статичний розрахунок рами та визначення розрахункових зусиль. Сполучення навантажень на раму.....	56
3.6. Визначення розрахункових довжин колони та ферми.....	57
3.7. Загальна характеристика комп'ютерної моделі.....	59
3.7.1. Результати розрахунку.....	60
3.7.2. Перевірочні розрахунки елементів каркасу.....	63
3.8. Порівняння варіантів поперечних рам.....	79
3.8.1. Порівняння мас колон.....	79
3.8.2. Порівняння мас ферм.....	81
Висновки за розділом 3.....	83

РОЗДІЛ 4.....	84
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	87
Список використаних літературних джерел	88
Додатки	91
Додаток А.....	91
Додаток Б	92
Додаток В.....	93
Додаток Г	94
Додаток Ґ.....	95

ВСТУП

Актуальність теми обумовлена високою потребою в легких швидкокомтованих будівлях для виготовлення і зведення яких не використовується високотехнологічне та спеціальне вантажопід'ємне обладнання. Такі будівлі можуть використовуватися як будівлі з гнучким технологічними процесами, будівлі логістичного призначення та будівлі для зберігання та переробки сільськогосподарської продукції тощо.

Останнім часом конструктивні рішення каркасів цехів з важким технологічним обладнанням, потужними мостовими кранами, з важкими ступінчатими колонами, а також виробництва з легкими технологічними процесами з використанням підвісних або опорних кранів, або опорних кран-балок, не зазнали суттєвих змін.

Разом з тим, для легких сталевих каркасів будівель, відбувається інтенсивний пошук нових рішень для зменшення матеріалоемності та зниження вартості будівель.

Метою роботи є дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнutoзварних профілів.

Задачі дослідження.

1. Вивчення вітчизняного та закордонного досвіду проектування легких каркасів виробничих будівель.
2. Дослідження конструктивних схем каркасів.
3. Розробка методики використання сучасних технологій проектування металевих конструкцій, за допомогою застосування ВІМ.
4. Проектування реальної одноповерхової виробничої будівлі з легким каркасом з використанням гнutoзварних профілів.
5. Порівняння матеріалоемності каркасів виробничих будівель з

різними конструктивними схемами, а саме два варіанти рам з використанням колон суцільного перерізу та наскрізних колон з гнутозварних профілів.

6. Визначити область раціонального використання колон з гнутозварних профілів для каркасів легкого типу.

- **Об'єкт дослідження.**

Сталеві колони каркасу однопролітної, одноповерхової виробничої будівлі легкого типу.

- **Предмет дослідження.**

Оптимальні перерізи та конструктивні рішення, які мінімізують витрати матеріалу на конструкції.

- **Методи дослідження.**

Проектування та розрахунок з використанням BIM – технологій, з подальшою порівняльною оцінкою одержаних результатів.

- **Наукова новизна.**

Отримані результати досліджень та аналіз існуючих варіантів конструктивних рішень, на основі яких розроблено проектне рішення реальної будівлі, можуть бути рекомендовані для проектування подібних конструкцій.

- **Практичне значення одержаних результатів.**

Використання запроєктованих колон зменшує витрати на матеріали, скорочує терміни будівництва, спрощує монтажні роботи.

- **Апробація результатів.**

Запроєктовано каркас реальної виробничої будівлі складського типу

у с. Супрунівка, Полтавського району.

- **Обсяг і структура роботи.**

Робота складається з 14 плакатів, пояснювальної записки на 88 сторінках, у тому числі 88 рисунків та 4 таблиці, списку з 50(більше 50) використаних джерел. Основний текст роботи містить вступ, 4-ри розділи та висновки.

РОЗДІЛ 1

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ОДНОПОВЕРХОВИХ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ

1.1 Загальні відомості щодо каркасів виробничих будівель.

Сучасні виробничі будівлі можуть містити в собі найрізноманітніші виробництва, специфіка яких і спричинила появу величезної множини різноманіття схем, конструкцій та їх призначення. Виробнича будівля може бути як одно-, так і багатоповерховою. Одноповерхові виробничі будівлі (ОВБ) можуть бути одно пролітними або багато пролітними, при цьому маючи незалежне від конкретного прольоту значення висоти [1]. Як правило виробничі будівлі є одноповерховими.

Каркасом будівлі називають сукупність несучих конструкцій, що сприймають на себе навантаження від ваги огорожувальних конструкцій (покрівлі, стінові панелі, застелення), атмосферних впливів (вітер та сніг), внутрішньо-цехового обладнання (підвісні та опорні крани), технологічного устаткування, різноманітних площадок, балкових кліток, температурних технологічних впливів і т.д. і т.п [1, 2, 3, 4, 5].

До сукупності просторової системи каркасу належать: поперечні рами, що складаються з колон (стійки) та ригелів (ферми або балки); покриття, включаючи кроквяні та підкроквяні ферми, ліхтарі; підкранові конструкції; в'язі; фахверк (каркас стін) [1, 3].

Для забезпечення несучої здатності та жорсткості каркасу впоперек будівлі - використовують поперечні рами, а вздовж будівлі – в'язі поздовжніх елементів каркасу між колонами та фермами, наприклад, такі як стінові чи покрівельні панелі або прогони покриття [1].

Рами є основною складовою каркасу, вони складаються з колон та ригелів, що можуть бути наскрізними (кроквяні ферми) або суцільними у

вигляді балок. Зазвичай спирання колон на фундаменти реалізується з жорстким зацмленням, а з'єднання ригелів та колон може бути жорстким або шарнірним [1].

До поздовжніх елементів належать - підкранові балки або ферми, підкровоквіні ферми, в'язі між колонами і фермами, розпорки та прогони покриття [1]. Також до переліку складових елементів каркасу можна віднести ліхтарі, конструкції фахверку і т.п. [1]

Бажано щоб з'єднання ригелів з колонами було жорстким, а не шарнірним задля підвищення поперечної жорсткості каркасу. Виконання даної умови важливе для нормальної роботи мостових кранів. Жорстке з'єднання рекомендовано для однопролітних будівель та високих багатопролітних, що обладнані важкими кранами [1].

Мостові крани можуть бути опорними та підвісними. Навантаження від них сприймають на себе підкранові конструкції та передають його на елементи каркасу. У випадку опорних кранів навантаження сприймається підкрановими конструкціями та передається на колони, а у випадку підвісних кранів - на ферми [1, 3].

Підкровоквіні ферми застосовують, якщо крок колон більше за проліт плит покриття. У такому випадку плити спираються на кровоквіні ферми, значення кроку яких збігається з прольотом плит. Відповідно, кровоквіні ферми, що розташовані між колонами, спираються на підкровоквіні ферми [1].

Сукупність в'язей та огороження будівлі забезпечують спільну роботу рам та їх стійкість [1].

Фахверк – це система зі стійок та ригелів, що забезпечує стійкість огорожувальних елементів каркасу, і яка призначена для сприйняття вітрового навантаження [1].

Ліхтарі промислової будівлі – це система із розкосів та стійок, які розташовуються на верхніх поясах ферм. Їх призначення полягає у тому, щоб забезпечити провітрювання, циркуляцію повітря у будівлі (аераційний

ліхтар) та надати доступ природнього освітлення до приміщення. Виробничі будівлі можуть бути як з ліхтарями, так і без них [1].

Умовно, каркаси промислових будівель можна поділити на наступні групи:

- виробничі будівлі з важкими мостовими, опорними та підвісними кранами, особливого режиму роботи;
- виробничі будівлі з легкими технологічними процесами з використанням підвісних або опорних кранів.
- безкранові виробничі будівлі;
- виробничі будівлі універсального призначення.

До 1-ої групи відносяться цехи, з використанням важкого, масивного, потужного технологічного обладнання (рис.1.1.)

У таких будівлях використовують потужні мостові крани, а в каркасах використовують важкі ступінчаті колони.









Рис. 1.1. Інтер'єри важких цехів

Умовно, до 2-ої групи будівель можна віднести виробництва з легкими технологічними процесами з використанням підвісних або опорних кранів, або опорних кран-балок. В каркасах таких будівель, зазвичай, колони постійного перерізу (див рис.1.2).



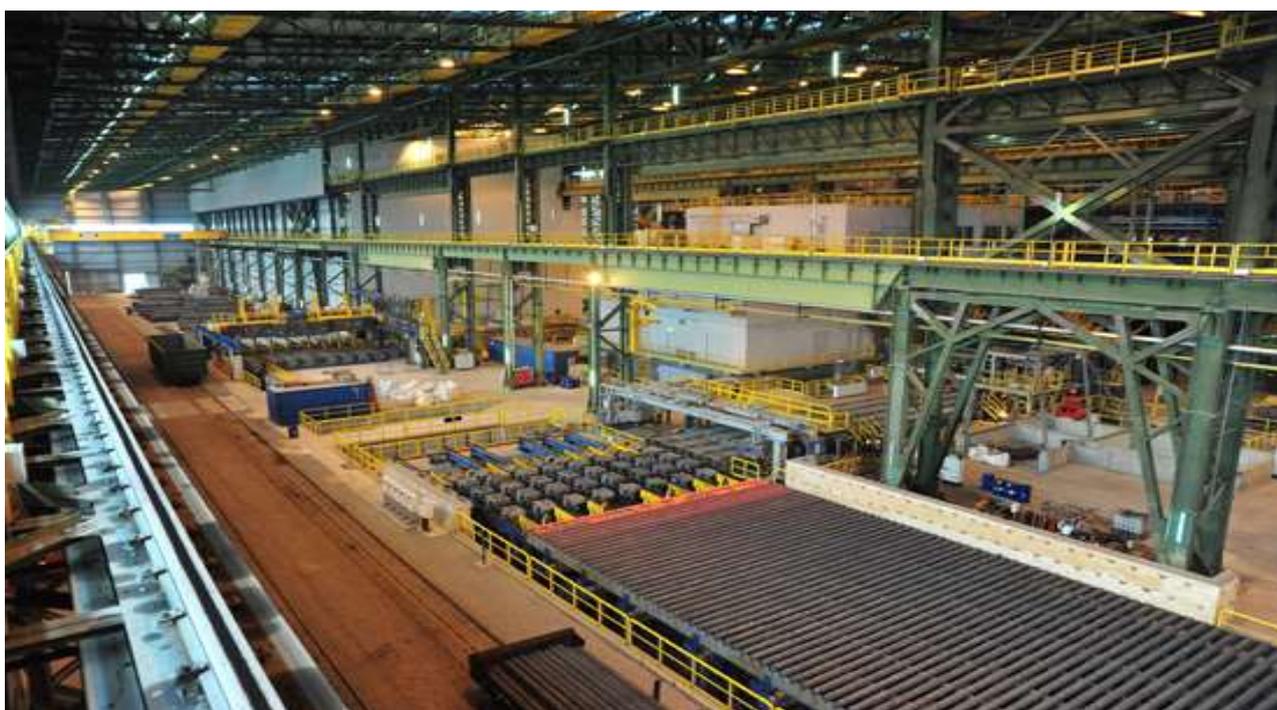


Рис.1.2. Інтер'єри промислових будівель 2-го типу

До 3-ої групи належать безкранові промислові будівлі з гнучкими технологічними процесами(див.рис.1.3).



Рис.1.3. Безкранова промислова будівля

В окрему групу виробничих споруд можна виокремити виробництва з гнучким технологічним процесом, такі як будівлі логістики та складські приміщення (див.рис.1.4.).







Рис.1.4. Легкі каркаси

В додатках А, Б, В та Г наведені конструктивні схеми перерізів будівель універсального призначення з легкими каркасами(4-ий тип)

Для будівель перших двох видів основним навантаженням на каркас є навантаження від кранів (мостових і підвісних) вантажопідйомність може сягати 100-200 тон.

Конструктивні рішення потребують для таких каркасів масивних колон з важких прокатних профілів.

Масивні колони можуть бути як наскрізні, так і суцільні із прокатних або зварних профілів (див.рис.1.5.)



Рис.1.5. Колони виробничих будівель

Для без кранових будівель четвертого типу основними

навантаженнями є атмосферні та від власної ваги, тому для них можливе використання легких колон – з перфорованою стінкою, синус-балок, ЛСТК та наскрізні колони з гнуто зварних профілів і т.п. Конструктивна схема таких будівель складається з колон і ригелів. Ригель може бути у вигляді балки або наскрізним у вигляді ферми. Як правило, в таких будівлях використовуються колони постійного перерізу по висоті, суцільного або наскрізного типу. Для зменшення маси каркасу практикуються зміна перерізу колони по висоті (див.рис.1.6.).

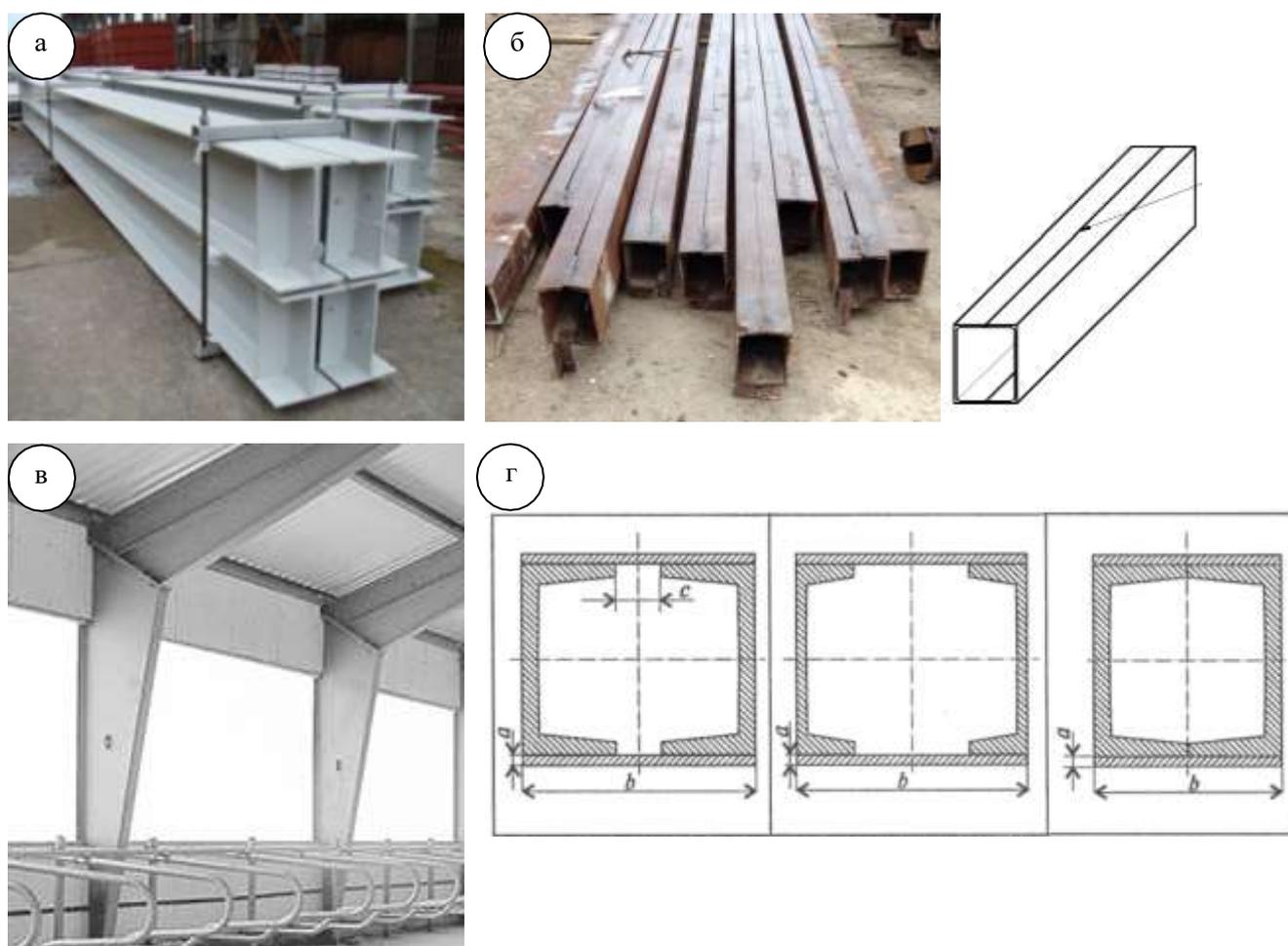
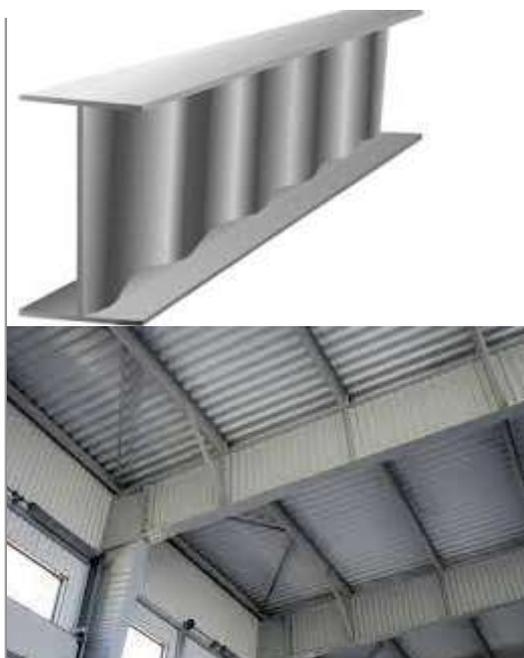
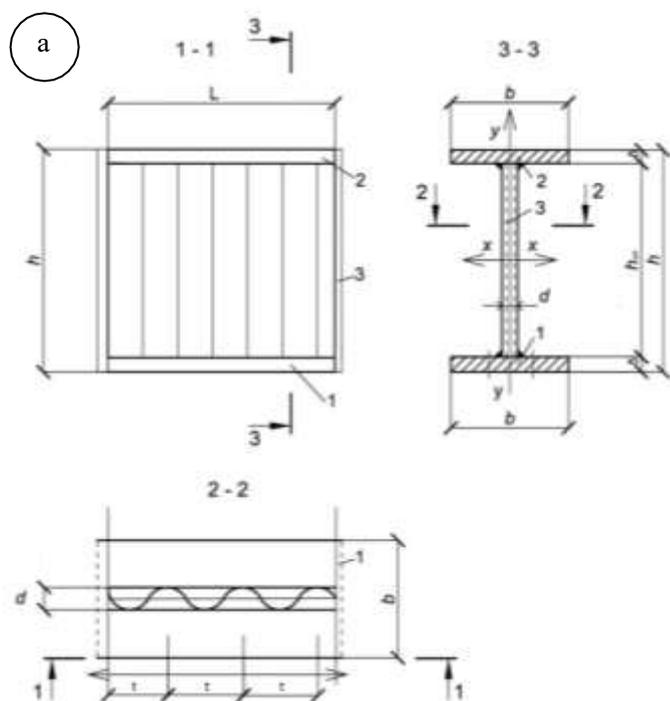


Рис.1.6. а) зварний двотавр; б) два швелера «в коробочку»; в) колона змінного перерізу; г) швелери на планках.

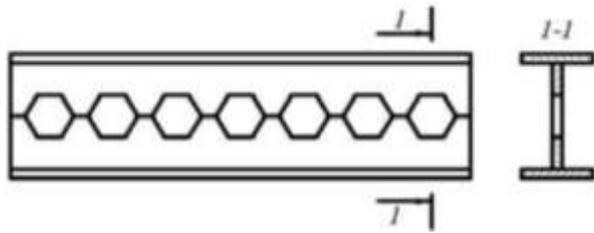
Варто зазначити, що останнім часом є актуальним зберігання зернових культур у спеціальних складських приміщеннях на відміну від зберігання у силосах. Як правило колони і балки проектується двотаврового перерізу, виходячи із значних навантажень на конструкцію

рами від технологічного обладнання. Однак, у складських приміщеннях, умовно четвертого типу, основним навантаженням на каркас є атмосферні впливи, такі як снігове та вітрове навантаження. Безпосереднє навантаження від зернових культур призводить до значних горизонтальних сил, що сприймаються спеціальними залізобетонними конструкціями (корито). Тому у таких будівлях, оскільки на каркас покладено виконувати суто огорожувальну функцію, можливе використання прогресивніших легких несучих конструкцій наскрізного типу, до яких відносяться (див. рис.1.7.):

- профілі з перфорованою стінкою
- профілі з гофрованою стінкою (синус-балка)
- тонкостінні профілі (ЛСТК)



б



в



Рис.1.7. а) син-балка; б) перфорована балка; в) ЛСТК, та каркаси з їх використанням.

Доцільність того чи іншого типу конструкцій приймається в залежності від технічних можливостей виробника. Для виготовлення таких конструкцій потрібне спеціальне обладнання. Як варіант полегшених конструкцій для виробничих будівель складського типу, у даній роботі, розглядаються сталеві гнutoзварні профілі (ГнЗ) (див. рис. 1.8.).

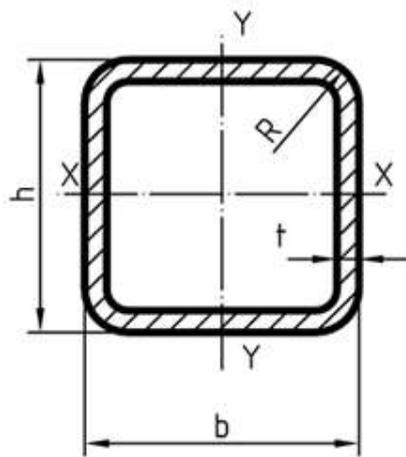


Рис.1.8. Приклад сталюого квадратного гнутого зварного профілю (ГнЗ)

Гнутозварні профілі виготовляються шляхом неперервного холодного профілювання з листової сталі з подальшим зварюванням замикального шва. До них відносяться електрозварні труби круглого перерізу, профілі квадратного та прямокутного перерізів [6]. Варто зазначити, що суттєвою перевагою сталевих ГнЗ профілів є їх простота у виготовленні та експлуатації, для цього не потрібне спеціальне технічне обладнання.

1.2 Огляд літератури по темі дослідження

В ході розвитку інженерно-будівельної справи останнім часом, постала необхідність полегшення традиційних сталевих колон та каркасу. Подібні пошуки конструктивних рішень у даному питанні прослідковуються у багатьох вчених, дослідницьких групах, приватних компаніях і т.д., [7, 8, 9, 10, 2, 11, 12, 13, 14, 15].

Останнім часом конструктивні рішення каркасів виробничих будівель з великими цехами, що містять у собі важке технологічне обладнання, потужні мостові крани, важкі ступінчаті колони, а також виробництва з легкими технологічними процесами з використанням підвісних або опорних кранів, або опорних кран-балок, не зазнали суттєвих змін.

Разом з тим, для легких сталевих каркасів будівель, відбувається інтенсивний пошук нових рішень для зменшення матеріалоемності та зниження вартості будівель. У світовій та вітчизняній практиці проектування каркасів виробничих будівель багато уваги приділено оптимізації конструктивних форм колон [16]. Основна увага більшості авторів спрямована на зменшення матеріалоемності та оптимізації конструктивних рішень [17].

Зменшення маси колон досягалося за рахунок розрахункових допущень та удосконалення методів розрахунку. Це знайшло відображення в останніх редакціях Єврокоду (EN) та державних будівельних норм проектування металоконструкцій [18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25] [26, 27, 28].

Водночас з цим, ведуться активно пошуки раціональних конструктивних рішень, що дозволяє зменшити вартість та масу металоконструкцій. Загальновідомо, що металоємність ферм з гнутозварних профілів менше ніж у ферм зі спарених кутиків [9], відповідно, можна перевірити чи виконується це для колон.

Наприклад, у роботі [11] автор досліджував каркаси з використанням

перфорованих профілів постійного та змінного перерізу по висоті.

Свого часу Божко В. А. займався дослідженням раціональності використання наскрізних перерізів для каркасів легких ОВБ [9]. У даній статті запропоновано двогілкову наскрізну колону з решіткою, що лежить в одній площині, яка виконана з одиночних кутиків. Розглянуте рішення колони забезпечує загальну її стійкість та жорсткість.

Переважає більшість авторів використовують у дослідженнях перерізи із традиційних профілів: кутики, швелери, двотаври тощо [29].

Для легких конструкцій властиве використання ефективних марок сталей та профілів, при цьому використання фланцевих з'єднань та з'єднань на високоміцних болтах.

Одним із напрямів підвищення ефективності металевих конструкцій є використання ефективних профілів таких, як балки з гофрованою стінкою (sin-балка), перфорованою стінкою та легкі сталеві тонкостінні конструкції (ЛСТК).

Дослідження ряду авторів [10, 30, 31, 32, 33, 34, 35] вказують на високу ефективність цих профілів для зниження матеріалоемності. Проте, головним недоліком таких конструкцій є висока вартість оцинкованої сталі підвищеної міцності та складне технологічне обладнання, що робить їх менш доступними у порівнянні з традиційними.

Тому в реаліях даного часу конструкції з традиційних профілів можуть бути ефективнішими, за рахунок меншої вартості вихідного матеріалу та простоти виготовлення, ніж із ЛСТК, гофро-балок, балок з перфорованими стінками і т.п. Перспективним напрямком зменшення маси легких каркасів є використання гнучо зварних профілів. Доступний сортамент яких дозволяє оптимізувати масу конструкції. Це підтверджується в роботах [9, 14, 12].

Проте, найефективнішим способом економії металу полягає у створенні кращих конструктивних рішень конструкцій. При цьому правильно підібране конструктивне рішення більше впливає на вартість та

матеріалоємність ніж безпосереднє зменшення маси конструкцій [2].

Тому, зважаючи на сказане вище, при виборі напрямку дослідження, нами було спрямовано пошук раціональних конструктивних форм перерізів із гнутозварних профілів.

Отже, у даній магістерській роботі планується провести дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнутозварних профілів та оцінити межу їх раціонального застосування відповідно до параметрів каркасу (проліт, висота тощо). Результати будуть порівняні з традиційними конструктивними рішеннями каркасів.

Висновки за розділом 1

- Розглянуто основні види каркасів одноповерхових виробничих будівель та наведено їх класифікація.
- Проаналізовані результати досліджень вітчизняних та зарубіжних авторів по оптимізації конструктивних форм каркасів.
- Проведено оцінку ефективності використання прокатних профілів та ефективних тонкостінних холодногнутих елементів у каркасах легкого типу.
- Сформульований напрямок досліджень ефективних перерізів та конструктивних рішень для колон каркасів легкого типу.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ КАРКАСІВ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ

2.1. Нормативна база розрахунку сталевих конструкцій. Використання BIM-технологій у проектуванні

У даній дипломній роботі, дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель, відбувається шляхом прямого розрахунку та подальшим порівнянням конструкцій, що задіяні у дослідженні, з використанням BIM-технологій.

Наразі існує ряд розрахункових комплексів, які адаптовані до національних норм України, наприклад, такі як ЛІРА-САПР та SCAD office. Натомість, такі розрахункові комплекси як Revit, RSTAB, DLUBAL RFEM і т.д., адаптовано лише під євро норми.

Нормативною базою при проектуванні металевих конструкцій та, відповідно, обраних об'єктів даного дослідження, є застосування державних будівельних норм проектування, які наведено нижче [26, 27, 28]:

- ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування [Чинний від 2015-01-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 199 с.;
- ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2019-01-01]. -К. : Мінбуд України, 2018. – 30 с.;
- ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Мінбуд України, 2006. – 75 с.

Разом з тим, допускається виконувати проектування євро нормами (EN), адаптованих до локальних національних умов.

2.2. Розрахунок за методом граничних станів

У державних будівельних нормах України, закладено методіку граничних станів. Усі принципи та головні положення забезпечення надійності будівель і споруд унормовуються відповідними документами [27, 28].

Оскільки, реальні конструкції експлуатуються за таких умов, що відрізняються від ідеалізованих, тому необхідно забезпечити їх надійність та уникнути їхніх, можливих, граничних станів. Тому треба враховувати всі фактори, такі як змінність навантажень, особливо у разі зростання, несприятливе сполучення навантажень, втрату в часі параметрів і властивостей матеріалів, умови реальної експлуатації та особливості дійсної роботи, а також розбіжності ідеалізованої моделі - розрахункової схеми, у порівнянні з реальною конструкцією, її умовами та особливостями роботи [27, 28, 36].

Навантаження має імовірнісну природу, відповідно можливе випадкове відхилення його величини, за час експлуатації споруди, від характеристичних значень або ж ці відхилення можуть бути внаслідок порушення умов нормальної експлуатації. Такі відхилення враховуються у розрахунках, використовуючи коефіцієнти надійності за навантаженням γ_f [36]. Ці коефіцієнти визначаються на основі аналізу статистичної мінливості навантажень, умов та емпірично накопичених даних досвіду експлуатації будівель і споруд та їх призначення [36].

Вводиться поняття про граничне розрахункове значення навантаження, аби врахувати можливе виникнення критичної ситуації, що може статися не більше ніж один раз за термін експлуатації. Граничне розрахункове значення враховується при розрахунках за граничними станами першої групи, при яких конструкція стає непридатною для подальшої експлуатації та покладених на неї функцій. Натомість для граничних станів другої групи, що пов'язані з порушенням, ускладненням умов нормальної експлуатації або/та фізичного зношування, використовуються експлуатаційні розрахункові значення навантажень, перетнути межі яких допускається деяку кількість разів впродовж

терміну експлуатації [36].

На будівельні конструкції можуть діяти досить багато різних видів навантажень, наприклад, такі як снігове, вітрове, від власної ваги частин споруди, від попереднього напруження конструкції, корисні навантаження і т. д. У такому разі розрахунки навантажень необхідно виконувати з використанням коефіцієнту сполучення ψ , враховуючи несприятливе сполучення навантажень. Значення $\psi \in [0,1]$, фізичний зміст якого, означає зниження ймовірності одночасного перевищення розрахункових значень декількох навантажень [36].

Введення коефіцієнта умов роботи γ_c робиться задля того, аби врахувати можливі відхилення від передбачених умов роботи конструкції, що несуть систематичний характер та не враховані в явному вигляді іншими коефіцієнтами у розрахунках. В окремих випадках він детально вивчений і обґрунтований. Однак у більшості випадків його значення встановлені умоглядно, на основі досвіду проектування і експлуатації. Значення цих коефіцієнтів для сталевих конструкцій наведено у [26]. Цей коефіцієнт можна вважати коефіцієнтом надійності моделі. Величина $\gamma_c < 1$ враховує несприятливі умови роботи конструкції, значення $\gamma_c > 1$ – сприятливі умови роботи. Цей коефіцієнт враховує всі неточності від ідеалізації розрахункової моделі, внаслідок чого і виникають відхилення, обумовлені її неточністю, що мають або систематичний, або випадковий характер [37].

2.2.1. Порівняння методик розрахунку сталевих конструкцій за Єврокодом та ДБН

Єврокод – це комплекс стандартів із проектування конструкцій, розроблених Європейським комітетом стандартизації (CEN) Комісії Європейської співдружності, з метою охопити питання проектування несучих конструкцій.

Мета Єврокоду – знайти на першому етапі альтернативу нормам різних

країн, з подальшим їх заміщенням.

Головними призначеннями Єврокодів є:

- уніфікація критеріїв при оцінці фізико-механічних властивостей, стійкості, вогнестійкості, довговічності, економічності;
- сприяння збуту і застосування будівельних компонентів, матеріалів і конструкцій у спільному просторі країн Європейського Союзу.
- суттєве зменшення витрат на проведення досліджень та дослідницької розробки за рахунок застосування загальної проектної бази;
- розробка загальних методів проектування та програмного забезпечення;

Основні відмінності у проектуванні згідно з Єврокодом 3 та ДБН В.2.6-198:2014

- *Єврокоди орієнтовані на комп'ютерні, а не ручні методи розрахунку* [38]. У країнах Європі загальноприйнятим є використання програмного забезпечення, що скорочує рутинні операції.
- В залежності від характеру роботи конструкції, у європейських нормах закладена необхідність урахування геометричної та фізичної нелінійності [38].
- На практиці при статичному розрахунку найбільш часто враховується геометрична нелінійність [38].
- *При статичному розрахунку Єврокоди вимагають врахування теоретичних початкових недосконалостей системи двома шляхами:*
 - 1 – моделювання системи з геометричними відхиленнями;
 - 2 – завдання моделюючих недосконалості еквівалентних зусиль.
- *У Єврокодах відсутні обмеження за гнучкістю.* Обмеження за переміщеннями елементів віднесено до сфери визначення Національних додатків. Національний додаток України визначає обмеження за переміщеннями відповідно до чинного ДСТУ Б.В 1.2.3:2006 [38].

- ***Поперечні перерізи елементів за напружено-деформованим станом розподіляються на 4, а не 3 класи, як у ДБН [38].***

Визначення класу полягає у перевірці втрати місцевої стійкості частин перерізу [38].

Клас 1 – поперечні перерізи, у яких може утворюватися повний пластичний шарнір без зниження несучої здатності від втрати місцевої стійкості [38];

Клас 2 – поперечні перерізи, у яких можуть утворюватися часткові пластичні деформації, обмежені внаслідок втрати місцевої стійкості [38];

Клас 3 – поперечні перерізи, які працюють у пружній області, а напруження досягають межі текучості тільки у крайніх волокнах. Пластичні деформації у перерізах 3-го класу не розвиваються внаслідок втрати місцевої стійкості [38];

Клас 4 – поперечні перерізи, у яких втрата місцевої стійкості у одній або кількох ділянках перерізу настає до досягнення межі текучості [38].

Фактично 4-й клас є найменш ефективним. До нього в основному відносяться легкі тонкостінні елементи, а також деякі інші типи перерізів. На практиці намагаються компонувати профілі таким чином, щоб вони підпадали під перші два класи [38].

З'єднання елементів

- ***У Єврокодах основною геометричною характеристикою зварних швів є не катет шва, а його висота (перпендикуляр із вершини умовного перерізу шва до гіпотенузи).*** Також немає розподілення перевірки міцності зварного шва за металом шва та межею зплавлення. Фактично вважається, що межа зплавлення рівномічна, а руйнування може відбутися тільки за металом шва [38].
- У Єврокодах до основних перевірок болтових з'єднань додана перевірка на відрив частини перерізу.

Зазначені відмінності між національними та європейськими нормами не є виразно фундаментальними, вони пов'язані насамперед з різним рівнем

технології проектування і виготовлення металоконструкцій, традиційністю галузі, рівнем нормування та контролю якості виробництва [38].

Основи розрахунку у Єврокод 3

Розрахунки в Єврокодах, виконують за граничними станами конструкцій, тобто за такими станами, після яких конструкція більше не відповідає мінімальним проектним вимогам [38].

ГРАНИЧНІ СТАНИ (деталізованіше ніж у ДБН)

Граничні стани за несучою здатністю (перша група граничних станів) – стани, пов’язані з руйнуванням або іншими схожими формами відмови конструкцій, та стосуються безпеки людей, та/або конструкції [38].

Граничні стани за експлуатаційною придатністю (друга група граничних станів) – стани, що відповідають умовам, поза межами яких визначені експлуатаційні вимоги для конструкцій (або елемента конструкції), більше не виконуються, та стосуються комфорту людей та зовнішнього вигляду будівель та споруд [38].

ПЕРША ГРУПА ГРАНИЧНИХ СТАНІВ

ЕQU – *втрата стійкості положень конструкції* чи її частини, в цілому. Тут суттєву роль відіграють навантаження, а характеристики матеріалів малозначущі.

STR – *втрата міцності або стійкості форми конструкції* чи її частини. При цьому характеристики матеріалів визначальні і контролюються.

GEO – *втрата несучої здатності основи конструкції*. При цьому характеристики ґрунтів визначальні та контролюються.

FAT – *руйнування конструкції* або її елементів, внаслідок втоми.

ДРУГА ГРУПА ГРАНИЧНИХ СТАНІВ

Основними параметрами, які контролюються при перевірці граничних станів за експлуатаційною придатністю, є *переміщення, вібрації та пошкодження* конструкцій.

Зворотні граничні стани за експлуатаційною придатністю, при яких після припинення дій, їх наслідки, що перевищують граничні значення –

відсутні і не розвиваються.

Незворотні граничні стани за експлуатаційною придатністю, при яких деякі наслідки дій, що перевищують граничні значення – *лишаються після припинення дій.*

Розрахунок за граничними станами гарантує, що при заданих фізико-механічних характеристиках матеріалів, а також прогнозованих навантаженнях і впливах, забезпечених із деяким рівнем надійності, несучі конструкції не втратять своїх нормованих властивостей та будуть задовольняти критеріям, які висуваються до їхньої цілісності та безпеки функції, яку вони обслуговують [38].

В цілому Єврокод 3 є трохи ефективнішим, з ретельнішим підходом до розрахунків металевих конструкцій, що дозволяє раціональніше встановити значення металоємності. Проте, незважаючи на певні незначні переваги Єврокодів над ДБН, у даній роботі супутні для досліджень проектування та розрахунки виконані за державними будівельними нормами України. Для розрахунків використано розрахунковий комплекс SCAD office, водночас проектування виконувалось за допомогою Tekla structure.

При проектуванні сталевих конструкцій з гнутим зварним профілем основною проблемою є перевірки міцності на продавлювання труби стінки та правильний розрахунок зварних швів. В актуальному ДБН В.2.6-198:2014 “Сталеві конструкції” наведені рекомендації щодо цих розрахунків. Сучасний проектувальник користується допоміжними програмними комплексами, задля підвищення точності, скорочення часу та автоматизації процесу проектування. На сучасному етапі проектування поширена практика автоматизації ручних розрахунків, які закладені в методиці діючого ДБН. У Єврокодї (EN) поширена практика використання розрахункових формул у табличних формах Excel, які впроваджені в деяких розрахункових комплексах, таких наприклад як RSTAB та Robot Structural analysis .

2.2.2. Загальні відомості про BIM-технології

BIM-технології або будівельне інформаційне моделювання – це новий спосіб керування цифровою інформацією, який використовується у будівництві та містобудуванні. Ця технологія має на меті спростити процес проектування та розрахунків, вона передбачає збір та обробку всієї інформації про об'єкт. У ній створюється у всій повноті віртуальна тривимірна модель проекту у цифровому вигляді, яка містить в собі всю інформацію про майбутній об'єкт, що і забезпечує взаємодію проектувальника з проектом. Тобто, можна віртуально відтворити об'єкт ще до початку його будівництва, відслідковувати процеси життєвого циклу будівельного об'єкту – від проектування до його зведення, експлуатації та демонтажу. Таким чином, такий підхід дає змогу підвищити безпеку та надійність будівель і споруд, оперативно управляти процесами будівництва та контролю якості виконання будівельних робіт, суттєво знизити імовірність помилок у проектах, зменшити вартість будівництва та оптимізувати витрати на стадії експлуатації [39].

Відповідно, між замовником, проектувальником та будівельником, покращується взаємодія та обмін інформацією, що дозволяє домогтися високоякісного виконання будівельних робіт, а також, оптимізувати час та матеріальні витрати. Застосування BIM-технологій проектування у будівництві забезпечує прозорість дій та повний контроль процесів в автоматизованому режимі, що гарантує високу якість проектно-будівельних робіт. Отже, BIM моделювання у будівництві має такі основні значущі переваги [40]:

- високоточність прогнозування;
- покращення точності фінансових розрахунків;
- зменшення ймовірності виникнення просторових колізій;
- зменшення грошових витрат на будівництво;
- зниження числа змін у проекті;
- оперативна реакція та корегування інформаційної моделі;
- точне планування робіт на майданчику будівельної техніки;

створення коректних графіків закупівлі матеріалів;
оптимізація всіх головних логістичних процесів будівництва та експлуатації.

До прикладу, можна навести деякі наступні програми, що належать до BIM-проекування:

- AutoCAD Architecture - спеціалізується на проектуванні архітектурних об'єктів, має широкі можливості для створення різних елементів будівель, таких як стіни, вікна, двері, сходи, балкони та багато іншого. Крім того, є можливість створення двомірних креслень, а також обмінюватись даними з іншими BIM-додатками.
- Revit - призначена для проектування будівель, споруд та інфраструктури. Revit дає змогу створювати проекти, які містять у собі як архітектурні, так і інженерні рішення. Крім того, програма забезпечує можливість моделювання об'єктів у тривимірному форматі, створення специфікацій і розрахунків, а також координацію проекту між різними учасниками.
- Allplan Architecture - призначений для створення проектів будівель і споруд будь-якої складності. Allplan Architecture має великий набір інструментів для створення тривимірних моделей будівель і виконання розрахунків, а також забезпечує можливість створення детальних креслень і специфікацій.
- BIMx - продукт від Graphisoft, знаний в архітектурних колах, і використовується, як важливе доповнення до їх основної програми САПР ArchiCAD.
- Tekla BIMsight - це комплексне рішення для спільної роботи у сфері будівництва, безкоштовний інструмент із зручною екосистемою BIM. Платформа допомагає спростити весь процес будівництва, дозволяючи керівникам будівельних проектів усувати конфлікти, що виникають, за допомогою інструмента виявлення конфліктів. Мобільні можливості Tekla BIMsight дають можливість спеціалістам працювати та

обмінюватися ідеями за допомогою пристроїв iOS та Android. Це полегшує миттєвий зв'язок. Tekla BIMsight пропонує потужні безкоштовні інструменти для створення інформаційних моделей та оновлення планів, 3D-перегляду та візуалізації.

2.3. Метод скінченних елементів та обчислювальний комплекс на його основі

У другій половині 20 століття, у зв'язку з розвитком фундаментальних, прикладних наук та чисельних методів, було розроблено метод скінченних елементів (МСЕ), який наразі здобув своє важливе місце у багатьох інженерних галузях. Цей метод історично виник із будівельної галузі, при дослідженнях різних конструкцій та став основним для їх розрахунку [41, 42, 43, 44, 45, 46].

Головна ідея методу скінченних елементів полягає у тому, що будь-які неперервні величини, наприклад, такі як розподіл температур, заданий у деякій області простору, тиск, густина, переміщення і т.д., і т.п., можна наблизити дискретною моделлю, що будується на сукупності кусково-неперервних функцій, визначених на скінченній кількості підобластей. Зі значень величини у певній кількості точок області визначаються апроксимаційні функції [41, 43].

Загалом величина наперед є невідомою і потрібно визначити її значення у певних внутрішніх точках області визначення. Необхідно припустити, що значення функції величини у кожній внутрішній точці відомі і, тоді можна побудувати дискретну модель. Після цього можна перейти до загального випадку. Отже, етапи алгоритму побудови дискретної моделі виглядають наступним чином [44, 41, 43]:

- У досліджуваній області обирається певна фіксована скінченна кількість точок, які називають вузовими або просто вузлами;
- Значення неперервної величини у кожній вузовій точці вважається змінною, яку необхідно визначити;

- Область визначення досліджуваної функції розбивається на деяку скінченну кількість підобластей, які називаються елементами. Ці елементи мають спільні вузлові точки, їх сукупність апроксимує форму області;
- На кожному елементі, шукану величину, наближують певними функціями переміщення – поліномами деякого степеня, що залежить від кількості вузлових точок. Для кожного елемента ставляться у відповідність свої поліноми, при цьому вони повинні задовільняти умову неперервності на границях при переході між елементами (досліджувана величина змінюється неперервно всюди, в області визначення). Ця сукупність функцій визначає переміщення у внутрішній області елементів через переміщення їх вузлів.
- Визначається система зосереджених у вузлах сил, яка врівноважує напруження на границях та деякі розподілені навантаження [41, 43, 44, 45], а потім записується співвідношення для жорсткостей у формі:

$$\{F\}^a = [k]^a \{\delta\}^a + \{F\}_p^a + \{F\}_{\varepsilon_0}^a,$$

Де $\{F\}_p^a$ - сили, що врівноважують діючі на елемент розподілені навантаження, $\{F\}_{\varepsilon_0}^a$ - сили у вузлах, що обумовлені початковими деформаціями, $[k]^a \{\delta\}^a$ - сили, що викликані переміщенням вузлів, $[k]^a$ – матриця жорсткості елемента [45].

Ця концепція побудови дискретної моделі неперервної величини, легко узагальнюється від одновимірного випадку на простори вищих розмірностей – двовимірні та тривимірні області. У двовимірному випадку елементи описуються функціями двох змінних. Як правило, у таких випадках, для побудови сітки, використовують трикутні або чотирикутні елементи.

МСЕ зазвичай реалізовано з використанням формалізму матриці жорсткості. Що передбачає збір мас конструкцій і матриць жорсткості. Матриця жорсткості, що містить інформацію про взаємозв'язки всіх точок на

механічному рівні. З локальної матриці жорсткості кожного елемента формується глобальна, складаючи жорсткості усіх елементів, що з'єднуються в загальних вузлах, з урахуванням їхньої орієнтації в просторі. Як результат виходить глобальна система зв'язків між усіма вузлами розрахункової моделі [46].

Підсумовуючи, суть МСЕ полягає в апроксимації неперервного середовища з нескінченним ступенем вільності сукупністю елементів, що мають скінчену кількість ступенів вільності, між якими встановлюється взаємозв'язок. Вони мають відомі механічні властивості. Таким чином, якщо жорсткості всіх елементів сітки пов'язати в єдине ціле, тоді можна встановити напружено-деформований стан (НДС) усієї системи та отримати необхідні показники(згинальні і крутильні моменти, поздовжні і поперечні сили тощо) [47, 48, 42].

Кількість елементів і вузлів, з яких складається модель, заздалегідь відома (рис. 2.1).

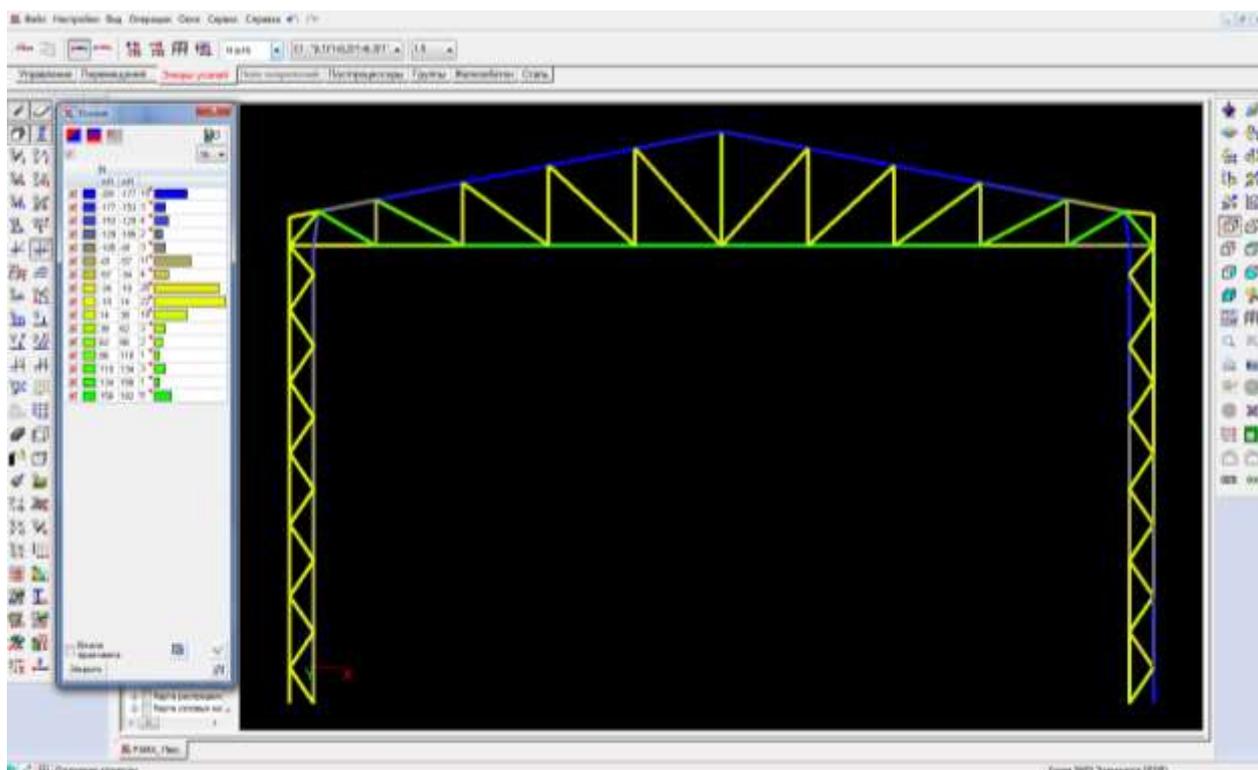


Рисунок 2.1. – Модель рами із кольоровим відображенням значень зусиль в елементах конструкції, виконана у програмі SCAD++. Вид зусилля - нормальна сила у стержні.

У даному дослідженні було використано інтегровану систему **SCAD Office**, яка призначена для чисельних розрахунків міцності і стійкості найрізноманітніших конструкцій, дослідження напружено-деформованого стану конструкцій під статичними та динамічними діями та проектування елементів конструкцій. У розрахунках даної роботи використовувався обчислювальний комплекс SCAD (Structure CAD) як основна програма (ядро пакету), що реалізована як обчислювальний комплекс для міцнісного аналізу конструкцій, теоретичною основою якого є метод скінченних елементів у формі методу переміщень [49, 42]. У ній можна створити скінченно-елементну модель конструкції (рис.2.1).

Про метод переміщень у обчислювальному комплексі SCAD++

Конструкція та її розрахункова схема.

Для розрахункового аналізу реальної будівельної конструкції, досліднику необхідно побудувати її ідеалізовану модель – розрахункову схему, обравши які елементи є важливими та якими несуттєвими особливостями можна знехтувати. Варто пам'ятати, що вибір розрахункової схеми є важливим елементом інженерного аналізу. Неправильно визначена, а потім і сформована розрахункова схема будівельної конструкції призводить до отримання неправильних (помилкових) результатів. Про очікувану поведінку будівельної конструкції роблять висновок на основі набутого інженером досвіду та інженерної інтуїції. Особливості очікуваної поведінки будівельної конструкції впливають на вибір розрахункової схеми, встановлення можливих степенів вільності, схематизації зовнішніх навантажень (зосереджених, рівномірно розподілених, температурних, динамічних тощо), які діють на систему [49].

Важливим питанням є розбиття створеної системи на скінченні

елементи. Надмірно дрібне розбиття призводить до збільшення часу розрахунку і пов'язане із запитом на використання великих ресурсів пам'яті персонального комп'ютера для зберігання та обробки даних. Надто грубе розбиття може призвести до втрати точності результатів. Не існує правил щодо вибору розбиття області елементну сітку. Тому потрібно опиратися на досвід та результати деяких контрольних розрахунків на одній і тій же розрахунковій схемі при різних системах розбиття на скінченні елементи [42, 50].

Розрахункова схема методу переміщень.

В основу SCAD, покладено метод переміщень, що оперує з вузлами та елементами розрахункової схеми.

Вузол у розрахунковій схемі методу переміщень подається у вигляді абсолютно жорсткого тіла дуже малих розмірів. Розташування вузла в просторі під час деформації розрахункової схеми визначається координатами центру і напрямками трьох осей, які жорстко зв'язані з вузлом. Вузол має шість ступенів вільності – три поступальні переміщення, які визначаються як різниця положення до та після деформації та три обертальні, себто, кути повороту. У методі переміщень елементи системи (стрижні, пластини, оболонки тощо) приєднуються тільки до вузлів розрахункової схеми [50].

Усі вузли й елементи розрахункової схеми нумеруються, як правило, за годинниковою стрілкою, проте також є безліч інших способів.

Невідомі величини.

Основна система методу переміщень вибирається, як правило, за допомогою накладання у кожному вузлі всіх зв'язків, які накладають заборону на вузлові переміщення. Умова рівності нулю зусиль у цих зв'язках являє собою розв'язуюче рівняння рівноваги, а зміщення вказаних зв'язків – основні невідомі методу переміщень [50].

У звичайних просторових конструкціях у вузлі можуть бути присутніми всі шість зміщень:

X – лінійне переміщення вздовж осі OX ;

Y – лінійне переміщення вздовж осі OY ;

Z – лінійне переміщення вздовж осі OZ ;

U_x – кут повороту навколо осі OX ;

U_y – кут повороту навколо осі OY ;

U_z – кут повороту навколо осі OZ .

Зовнішні та внутрішні зв'язки.

Залежно від конструктивної схеми на деякі з вузлових переміщень можуть бути накладені певні обмеження (монозв'язки) (наприклад, $X=0$ або $U_y=0$). Під час формування розрахункової схеми користувачу слід остерігатися пропуску зв'язків, які в майбутньому можуть призвести до появи геометричної змінності системи. Система SCAD у процесі розрахунку здійснює контроль розрахункової схеми на предмет її геометричної змінності і в разі виявлення здійснює редагування розрахункової схеми накладанням додаткових зв'язків. Проте користувачу належить уважно звертати увагу на запропоновану системою редакційну правку, бо вона не завжди може задовольняти вимоги розрахункової схеми [50].

Розрахунок геометричної схеми, на яку накладені монозв'язки, достатньо простий – відповідні вузлові переміщення виключаються з числа основних невідомих [50].

Групи, підсхеми, суперелементи.

Іноколи розрахункову схему можна подати у виді об'єднаних різноманітних фрагментів, кожен із яких розглядають як окреме ціле. Такі іменовані фрагменти називаються групами. Групами можуть бути функціонально пов'язані між собою частини системи (стіни, перекриття, фундаменти тощо). Можна створювати також групи із будь-яких компонентів розрахункової моделі (вузлів, елементів, навантажень тощо) [50, 49].

Фрагменти, представлені як самостійні розрахункові схеми, називаються підсхемами. Вони мають усі риси розрахункової схеми, складаються з вузлів та елементів, мають зв'язки, шарніри тощо. При створенні розрахункової системи, до складу якої входять підсхеми, працюють як з

одним цілим [50].

Підсхема, яка використовується не тільки для введення інформації, але й під час організації обчислювального процесу, називається суперелементом. Суперелементне моделювання доцільно використовувати в тих випадках, коли один і той самий суперелемент входить до складу розрахункової схеми декілька разів [50].

Навантаження і впливи.

Взаємодія розрахункової схеми з навколишнім середовищем, як правило, подається у вигляді навантажень або впливів, які прикладені до вузлів розрахункової схеми (вузлові навантаження) або до внутрішніх точок її скінченних елементів (місцевих навантажень). Місцеві навантаження можуть бути силами та моментами, зосередженими або розподіленими по лінії, площі та об'єму. Інколи завантаження розрахункової схеми подається у формі температурних впливів на елементи або наперед задані зміщення у вузлах [50].

У практиці проектування використовують нормативні та розрахункові значення навантажень. Перехід від одних до інших виконується за допомогою коефіцієнтів надійності за навантаженням. Нормативні навантаження використовуються для перевірки другого граничного стану, розрахункові навантаження – для перевірки першого граничного стану. У комплексі SCAD за замовчуванням пропонується, що навантаження задаються своїми розрахунковими значеннями. Сукупність навантажень і впливів, одночасно прикладених до розрахункової схеми, називається її завантаженням [50].

Оскільки завантаження можуть у різні моменти часу утворювати різні комбінації і можливе число таких комбінацій (поєднань) достатньо велике, виникає задача пошуку таких поєднань зовнішніх навантажень, які призводять до найбільш несприятливого наслідку для деякого елемента або його перерізу. У цьому випадку є потреба в пошуку розрахункового поєднання зусиль (РПЗ).

Визначити РПЗ – означає знайти ті поєднання окремих завантажень,

які можуть бути вирішальними (найбільш небезпечними) для кожного елемента або його перерізу, який перевіряється. Основою вибору невігідних розрахункових поєднань зусиль слугує принцип суперпозиції, що передбачає виконання розрахунків, як для лінійно працюючої системи

Бібліотека SCAD містить набір найрізноманітніших скінченних елементів для моделювання [47] :

- різних видів стрижневих елементів, включаючи шарнірно-стрижневі, рамні, балкового ростверку на пружній основі та дає змогу враховувати зсув у перерізі стрижня [50];
- пластинчатих елементів, а саме - три- та чотиривузлові елементи плит, оболонок і балок-стінок, які можуть мати додаткові вузли на ребрах та давати розв'язок задач для матеріалів з різними фізичними властивостями (наприклад з урахуванням ізотропії, анізотропії тощо) [50];
- різні види об'ємних твердотільних елементів, набір три- та чотиривузлових багатшарових і вісесиметричних елементів;

а також, модулі аналізу стійкості, формування розрахункових сполучень зусиль, перевірки напруженого стану елементів конструкцій за різними теоріями міцності, визначення зусиль взаємодії фрагмента з усією конструкцією, обчислення зусиль і переміщень від комбінацій завантажень [49].

Високопродуктивний процесор дозволяє розв'язувати задачі великої розмірності (сотні тисячі ступенів вільності при статичних і динамічних впливах), водночас з високою швидкістю розрахунку, зокрема тому, що розробниками програмного забезпечення впроваджено ефективні методи оптимізації матриці жорсткості. Розрахунок супроводжується детальним протоколом, який можна проаналізувати як під час виконання розрахунку, так і після його завершення. Система контролю вихідних даних перевіряє розрахункову схему та виявляє усі помилки та попередження [48, 50].

Висновки за розділом 2

- Проаналізовано сучасний стан нормативної бази каркасів металевих конструкцій.
- Проведено порівняння розрахунків сталевих конструкцій за вітчизняними нормами та єврокодом.
- Розглянуто можливість використання будівельно-інформаційного моделювання (BIM-технологій) при проектуванні сталевих каркасів виробничих будівель.
- Проаналізовано основні параметри обчислювальних комплексів, що використовувалися при проектуванні сталевих конструкцій каркасу.
- Виконано порівняння графічних комплексів (AutoCAD, Tekla Structures, Revit і т.п.) для проектування металевих конструкцій.
- Обґрунтовано доцільність вибору для розрахунків дослідження комплексу SCAD office, а також оглянуто метод скінченних елементів та вказано те, як його впроваджено у даному розрахунковому комплексі SCAD office
- Сформульовано принцип дослідження техніко-економічних показників для порівняння (конструктивних рішень?)поперечних рам виробничих будівель.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ КАРКАСІВ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ З ВИКОРИСТАННЯМ СТАЛЕВИХ ГНУТОЗВАРНИХ ПРОФІЛІВ

					601-БП-xxxxx-ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав					Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнutoзварних профiлiв	Лiт.	Арк.	Акрушiв
Керiвник								
Н. Контр.								
Зав.кафедри								
						НУПІ ім. Юрія Кондратюка Кафедра БтаЦі		

3.1. Обґрунтування вибору конструктивних схем

У залежності від технологічних вимог, для одноповерхових виробничих будівель оптимальним є сталевий каркас з висотою колон до 10...12м та прольотом кроквяних ферм до 20..30м. При цьому обрані перерізи колон і ферм суттєво впливають на металоемність каркасу.

Для таких конструкцій каркасів можуть бути використані суцільні або наскрізні перерізи з прокатних профілів або ефективні профілі, типу ЛСТК, sin-балка, перфорована балка тощо.

Вибір типу перерізу колон залежить від висоти будівлі та навантажень, що діють на конструкції. Ригелі, в залежності від прольоту, проектують суцільного перерізу у вигляді балки або наскрізного - у вигляді ферми.

За статичною схемою, для таких каркасів доцільним є шарнірне спирання колон на фундаменти та жорстке з'єднання колони і ригелю. Для легких виробничих будівлях шарнірне спирання колони дозволяє зменшити вартість фундаментів.

У даній роботі були досліджені оптимальні параметри каркасу для одноповерхової виробничої будівлі складського типу, за таких вихідних даних для проектування та розрахунку:

район будівництва с. Супрунівка, Полтавського району,

характеристичне снігове навантаження 1,45кПа [28],

характеристичне вітрове навантаження 0,47кПа [28];

призначення – виробнича, безкранова;

конфігурація в плані: Г-подібна будівля(рис.3.1);

1-ий проліт - 15 м, висота до нижнього поясу ферм - 8м, довжина – 37м

2-ий проліт - 12 м, висота до низу ферм - 6м, довжина - 19м.

крок поперечних рам - 6 м.

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

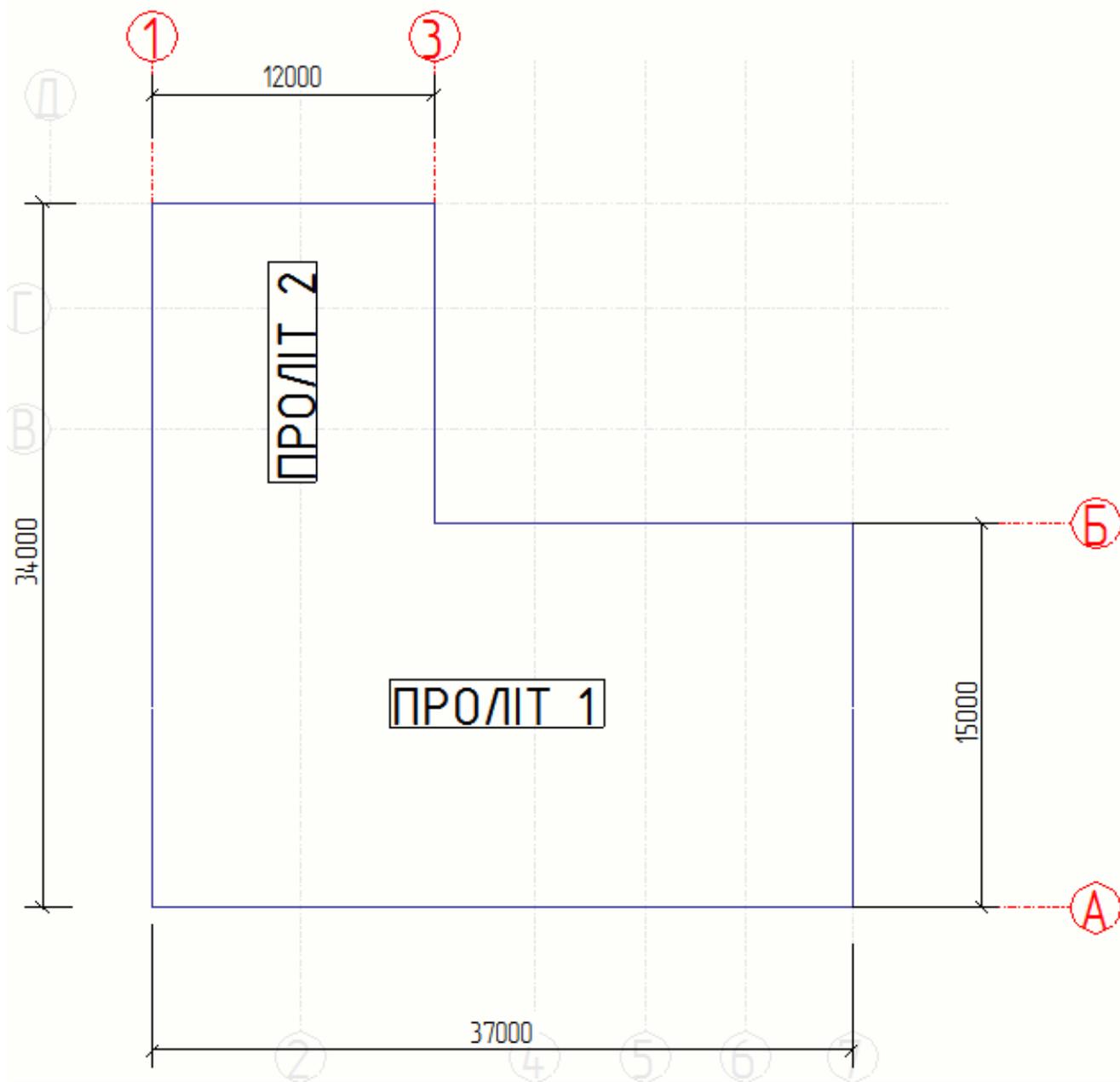


Рис.3.1. План будівлі

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.Компонування конструктивної схеми каркасу

Компонування поперечної рами виконано з урахуванням технологічних умов виробництва .

Розглянуто два варіанти типу колон рам, на які спирається ферма:

варіант 1 - колона із двох швелерів «в коробочку» (див.рис.3.2);
наскрізна

варіант 2 - колона, виготовлена із гнutoго зварного профілю (див.рис.3.3).

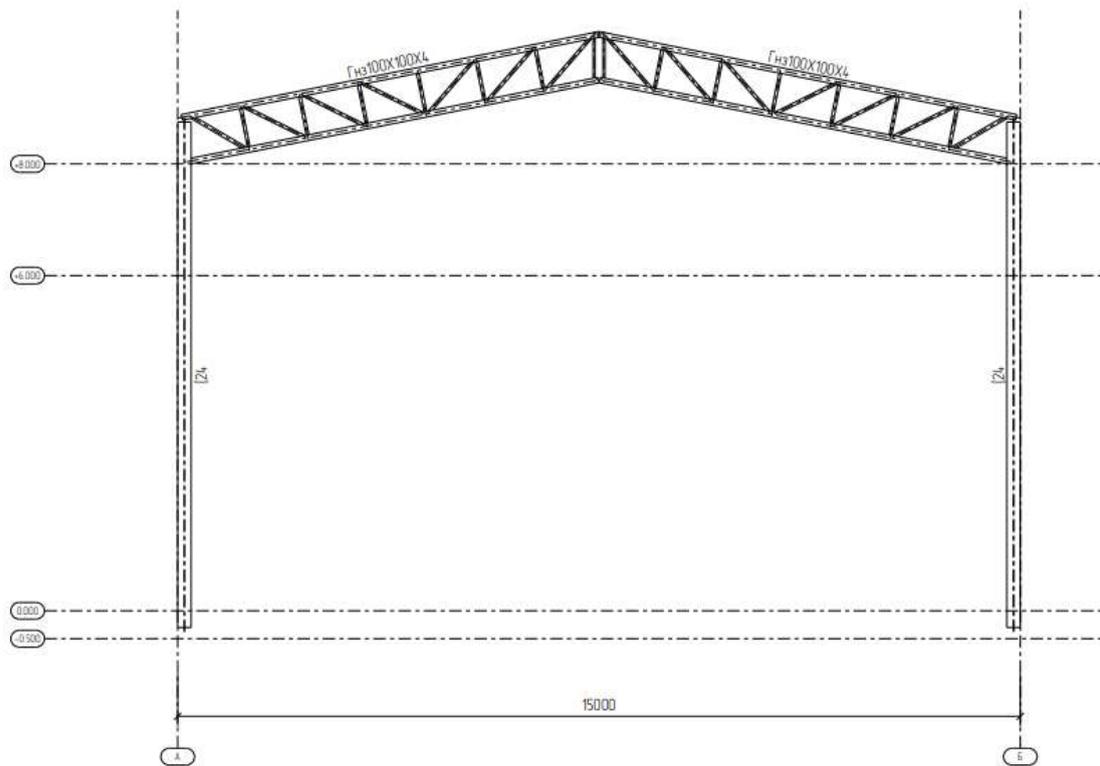


Рис.3.2. Варіант 1. Рама з суцільними колонами

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

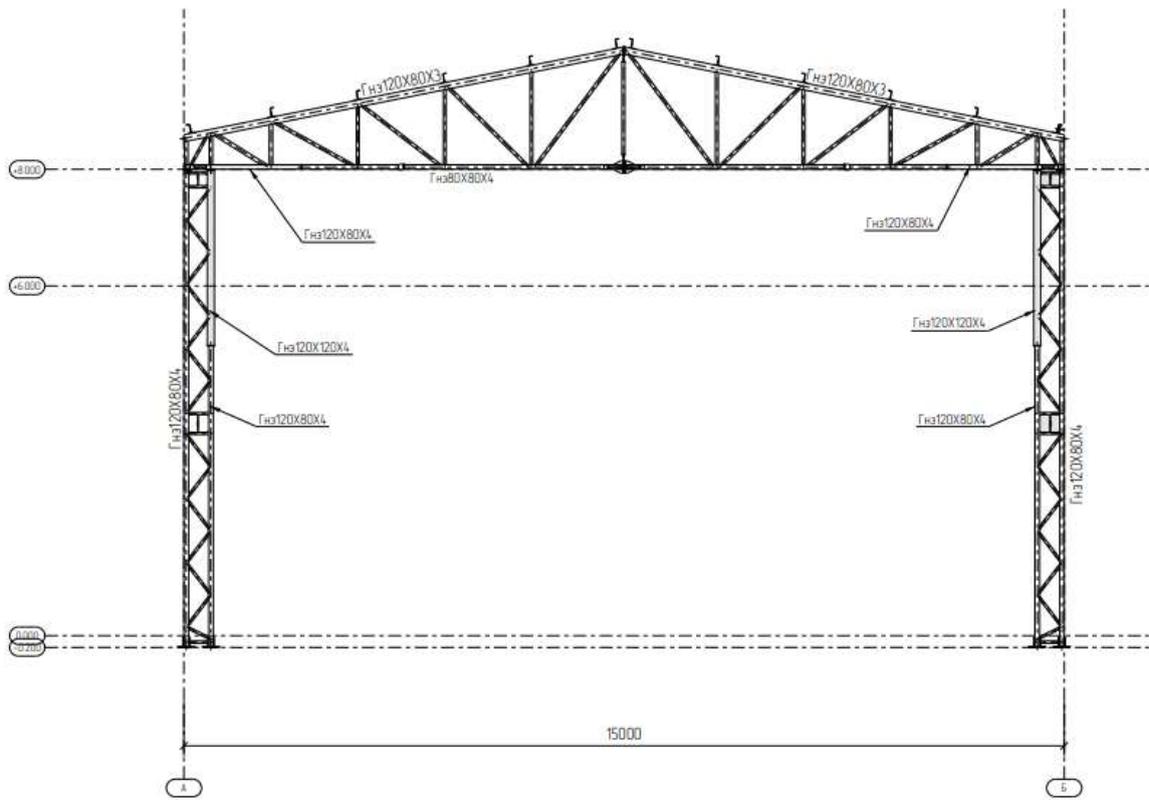


Рис.3.3.Варіант 2. Рама з наскрізними колонами

3.3.Розрахунок сталеві поперечної рами

Розрахункова схема для обох варіантів прийнята наступна (рис.3.4):
 спирання колон на фундаменти – шарнірне;
 з'єднання колони з ригелем – жорстке.

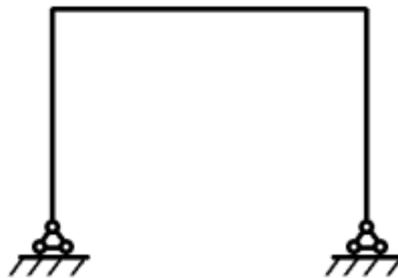


Рис.3.4. Розрахунок схема рами

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3.1. Збір навантажень на поперечні рами

На раму діють такі навантаження:

постійні – від маси несучих та огорожувальних конструкцій каркасу;

тимчасові: – атмосферні впливи (сніг та вітер).

Навантаження від власної ваги покриття на 1м²

№ з. п.	Конструкція покриття	Характер. Навантаження g'' , кН/м ²	Коефіцієнт надійності за навантаженням	Граничне розрахункове навантаження g^p , кН/м ²
1	ПВХ мембрана "Protan EXG" $t=0,0016\text{м}$, $\rho=2\text{кг/м}^2$	0,000032	1,3	0,001
2	Утеплювач із жорстких мінераловатних плит, $t=0,05\text{м}$, $\rho=225\text{кг/м}^2$	0,1125	1,2	0,135
3	Утеплювач із мінераловатних плит, $t=0,15\text{м}$, $\rho=150\text{кг/м}^2$	0,225	1,2	0,27
4	Пароізоляція із шару фольгоізолу	0,05	1,2	0,06
5	Сталевий профільований настил	0,155	1,05	0,163
6	Сталеві прогони із гнутих профілів	0,08	1,05	0,084
7	Кроквяні ферми із в'язями (проліт 15 м)	0,3	1,05	0,315
Всього		0,923	-	1,028

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

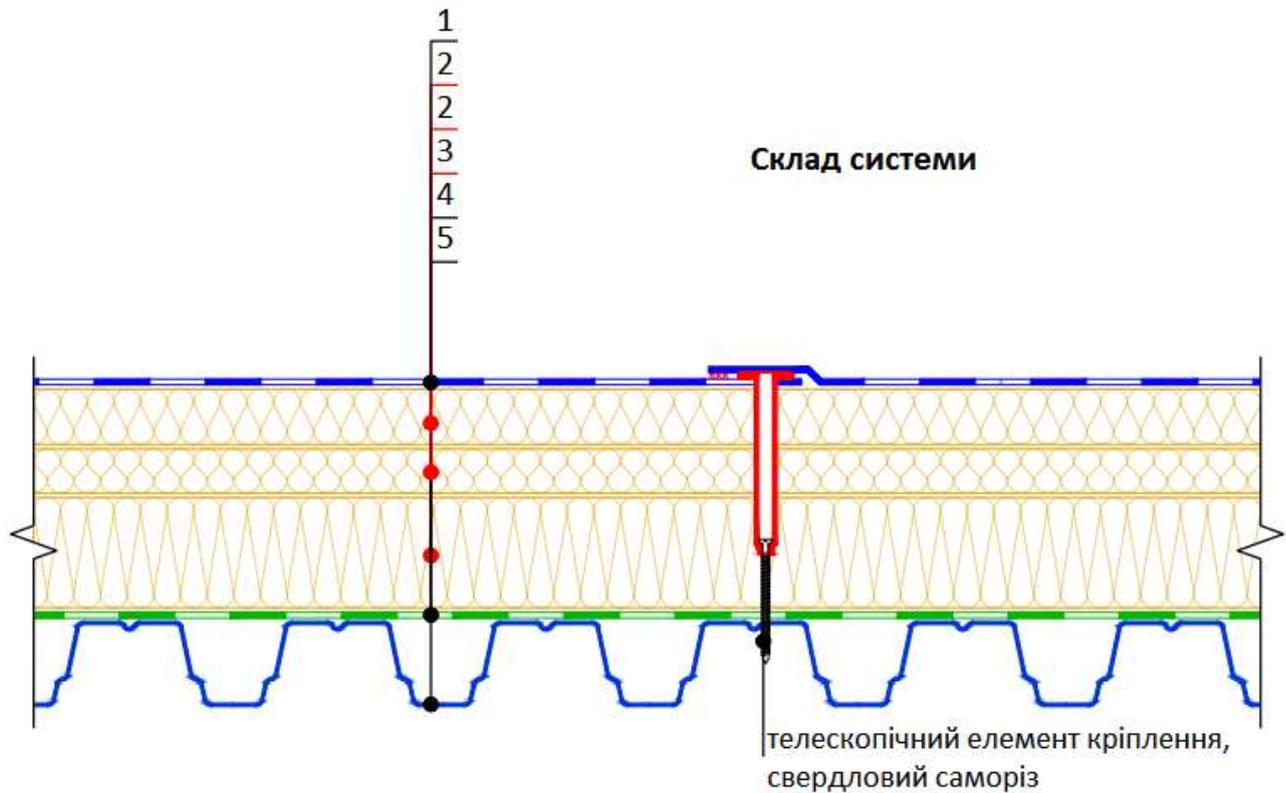


Рис.3.5. Склад покрівлі рами

3.3.1.1. Постійне навантаження

Залежно від конструктивної форми будівлі та прийнятого складу огорожувальних конструкцій, визначаємо розрахункове навантаження.

Граничне розрахункове лінійне навантаження на ригель рами q^p , від навантаження від власної ваги покриття на 1м^2 , визначається як добуток q^p на ширину вантажної площі B , себто крок кроквяних ферм.

$$q^p = g^p \cdot B = 1,028 \cdot 6 = 6,168\text{кН/м}$$

Опорний розрахунковий тиск ферми на колону від постійного навантаження:

$$F = \frac{q^p L}{2} = \frac{6,168 \cdot 15}{2} = 46,26\text{ кН}$$

3.3.1.2. Змінні навантаження

3.3.1.2.1. Навантаження від снігу

При розрахунку рами навантаження від снігу приймається рівномірно розподіленим за довжиною ригеля. Гранично розрахункове значення снігового навантаження на 1мп ригеля:

$$q_{сн} = \gamma_{fm} \cdot S_0 \cdot C \cdot B = 1,04 \cdot 1,45 \cdot 1 \cdot 6 = 9,05 \text{кН/м}$$

де $\gamma_{fm} = 1,04$ – коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаження, що визначається згідно табл. 8.1 [28] (для виробничих будівель строком експлуатації 60 років).

$S_0 = 1,45 \text{кН/м}^2$ – характеристичне значення снігового навантаження, що визначається згідно додатку Е [28] (для м. Полтава).

$B = 6 \text{м}$ – крок колон каркасу.

C – коефіцієнт, що визначається за формулою:

$$C = \mu \cdot C_e \cdot C_{alt} = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

де $\mu = 1$ – коефіцієнт переходу від ваги снігового покриву на поверхні ґрунту до снігового навантаження на покрівлю, визначається за [28], п. 8.7, 8.8 залежно від форми покрівлі і схеми розподілу снігового навантаження; для будинків з односхилими та двосхилими покриттями при куті нахилу покрівлі до горизонту $\alpha \leq 25^\circ$ $\mu = 1$ (схема 1 додатку Ж [28]);

$C_e = 1$ – коефіцієнт, що враховує режим експлуатації покрівлі і визначається згідно п. 8.9 [28].

$C_{alt} = 1$ – коефіцієнт географічної висоти, що визначається згідно [27] [28]

3.3.1.2.2. Навантаження від вітру

Визначаємо активні і пасивні значення еквівалентного рівномірно розподіленого навантаження, що діє на колони та рами:

$$q_{акт} = \gamma_{fm} \cdot W_0 \cdot C^{акт} \cdot B = 1,04 \cdot 0,47 \cdot 0,448 \cdot 6 = 1,31 \text{кН/м}$$

$$q_{пас} = \gamma_{fm} \cdot W_0 \cdot C^{пас} \cdot B = 1,04 \cdot 0,47 \cdot 0,336 \cdot 6 = 0,99 \text{кН/м}$$

де $\gamma_{fm} = 1,04$ – коефіцієнт надійності за експлуатаційним

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахунковим значенням вітрового навантаження, приймається згідно табл. 9.1 [28].

$W_0 = 0,47 \text{ кН/м}^2$ – характеристичне значення вітрового тиску, приймається згідно додатку Е [28] (для м. Полтава).

$C_{\text{акт}}$, $C_{\text{пас}}$ – коефіцієнти що визначаються за формулами:

$$C_{\text{акт}} = C_{\text{аер}}^{\text{акт}} \cdot C_h^{\text{екв}} \cdot C_{\text{alt}} \cdot C_{\text{rel}} \cdot C_{\text{dir}} \cdot C_d = 0,8 \cdot 0,56 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,448$$

$$C_{\text{пас}} = C_{\text{аер}}^{\text{пас}} \cdot C_h^{\text{екв}} \cdot C_{\text{alt}} \cdot C_{\text{rel}} \cdot C_{\text{dir}} \cdot C_d = 0,6 \cdot 0,56 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,336$$

де $C_{\text{аер}}$ – аеродинамічний коефіцієнт, що визначається згідно з додатком І [28]. $C_{\text{аер}}^{\text{акт}} = 0,8$, $C_{\text{аер}}^{\text{пас}} = 0,6$.

$C_h^{\text{екв}} = 0,56$ – еквівалентне значення коефіцієнта висоти споруди, приймається згідно п. 9.9 табл. 9.01 [28].

$C_{\text{alt}} = 1$ – коефіцієнт географічної висоти, що визначається згідно п.9.10 [28].

$C_{\text{rel}} = 1$ – коефіцієнт рельєфу, що визначається згідно п. 9.11 [28].

$C_{\text{dir}} = 1$ – коефіцієнт напрямку, що визначається згідно п. 9.12 [28].

$C_d = 1$ – коефіцієнт динамічності, що визначається згідно п. 9.13 [28].

3.3.1.2.3. Зосереджене вітрове навантаження на ригель рами

Навантаження від тиску вітру на частину стіни в межах висоти ригеля (ферми) прикладається на рівні нижнього поясу ригеля як зосереджена сила без урахування моментів, які виникають від такого перенесення. Ця сила обчислюється за формулою:

$$W = \gamma_{\text{fm}} \cdot W_0 \cdot (C_{\text{аер}}^{\text{акт}} + C_{\text{аер}}^{\text{пас}}) \cdot \frac{C_h^{\text{нп}} + C_h^{\text{вп}}}{2} \cdot C_{\text{alt}} \cdot C_{\text{rel}} \cdot C_{\text{dir}} \cdot C_d \cdot H_{\text{ф}} \cdot B$$

де $H_{\text{ф}} = h_0 + \frac{L}{2} \cdot \frac{i}{100} + 0,3 = 2,15 + \frac{24}{2} \cdot \frac{1,5}{100} + 0,3 = 2,63 \text{ м}$ – висота шатра.

$C_h^{\text{нп}}$ і $C_h^{\text{вп}}$ – коефіцієнти зміни вітрового тиску по висоті, що дорівнює 0,64 і 0,69 відповідно.

Отримаємо:

$$W = 1,04 \cdot 0,46 \cdot (0,6 + 0,8) \cdot \frac{0,64 + 0,69}{2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,63 \cdot 6 = 7,03 \text{ кН}$$

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4. Вибір сталі для проектування.

Залежно від категорії конструкцій за призначенням і за напруженим станом, а також від інших чинників, наведених у таблиці В.2 [26], конструкції та елементи поділяються на чотири групи.

Групи конструкцій слід приймати залежно від показника групи S , який дорівнює сумі балів окремих чинників, які приймаються відповідно до таблиці В.2 [26].

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5$$

де $S_1 = 0$ – клас відповідальності;

$S_2 = 11$ – категорія за призначенням;

$S_3 = 1$ – категорія за напруженим станом;

$S_4 = 7$ – наявність розтягувальних напружень;

$S_5 = 2$ – несприятливий вплив зварних з'єднань.

$$S = 0 + 11 + 1 + 7 + 2 = 21$$

Оскільки, $S = 21 > 18$, то колона відноситься до III групи конструкцій.

За таблицею Е.1 [26] підбираємо сталь для проектування.

Приймаємо сталь С245 ДСТУ 8539:2015.

2.3.2 Вибір сталі для проектування.

Залежно від категорії конструкцій за призначенням і за напруженим станом, а також від інших чинників, наведених у таблиці В.2 [26], конструкції та елементи поділяються на чотири групи.

Групи конструкцій слід приймати залежно від показника групи S , який дорівнює сумі балів окремих чинників, які приймаються відповідно до таблиці В.2 [26].

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5,$$

де $S_1 = 0$ – клас відповідальності;

$S_2 = 11$ – категорія за призначенням;

$S_3 = 5$ – категорія за напруженим станом;

$S_4 = 7$ – наявність розтягувальних напружень;

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$S_5 = 6$ – несприятливий вплив зварних з'єднань.

$$S = 0 + 11 + 5 + 7 + 6 = 29$$

Оскільки, $S = 29 > 26$, то ферма відноситься до I групи конструкцій.

За таблицею Е.1 [26] підбираємо сталь для проектування ферми.

Приймаємо сталь С255 ДСТУ 8539:2015.

3.5. Статичний розрахунок рами та визначення розрахункових зусиль.

Сполучення навантажень на раму.

Результати статичного розрахунку однопролітної рами каркасу за програмою «SCAD OFFICE 21.1» таблиця розрахункових зусиль, які виникають в характерних перерізах лівої колони рами складу від кожного навантаження. Зусилля в колоні рами визначається для перерізів, де зусилля різко змінює свій характер, а також в місцях, де переріз колони різко змінює свої геометричні характеристики.

Конструкції каркасу однопролітних виробничих будівель одночасно зазнають впливу кількох навантажень. При цьому імовірність одночасної реалізації максимальних значень навантажень є низькою: при досягання максимального значення одного з навантажень, інші, зазвичай, сягають значень, не рівних максимальним. Отже, сумарне розрахункове зусилля в конструкції від дії декількох навантажень майже завжди менше від суми зусиль від розрахункових значень діючих навантажень. У державних будівельних нормах фактор сумісної дії випадкових навантажень, як раніше зазначалося, враховується за допомогою використання коефіцієнта сполучення ψ . За розрахунком визначають найбільш не вигідне сполучення навантажень на елементи рами.

Норми проектування передбачають для одно пролітних виробничих будівель два головних сполучень навантажень:

постійне навантаження, а також змінні довготривалі навантаження, а також одне змінне короткотривале навантаження, коефіцієнт сполучення якого рівний $\psi=1$;

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

постійне навантаження, а також змінні довготривалі навантаження, а також не менше двох змінних короткотривалих навантажень, узятих із коефіцієнтом сполучення $\psi=0,9$.

Навантаження від снігу, вітру та мостових кранів відносять до змінних короткотривалих навантажень. При цьому вертикальний та горизонтальний вплив мостових кранів на раму приймається як одне змінне навантаження.

Для розрахунку анкерних болтів складають спеціальну комбінацію розрахункових зусиль на рівні низу колони. Як правило, вона включає в себе найменшу повздовжню силу із найбільш можливим моментом. При цьому, повздовжня сила від постійного навантаження враховується із коефіцієнтом 0,9, так як вона розвантажує анкерні болти.

Для визначення несучої здатності елементів каркасу необхідно визначити розрахункові довжини колони та елементів ферми.

3.6.Визначення розрахункових довжин колони та ферми

Розрахункові довжини в площині рами.

В площині рами розрахункову довжину визначаємо згідно таблиці 13.7

і із площини рами визначають в залежності від конструктивної схеми каркасу.

Таблиця 13.7 – Коефіцієнти розрахункової довжини колон [26]

Схема опорного закріплення колон (стояків) і вид навантаження								
μ	1,0	0,7	0,5	2,0	1,0	2,0	0,725	1,12

Отже, пояси: відстань між вузлами i є розрахунковою довжиною;
із площини : розрахункова довжина є відстанню між точками розкріплення.

Для елементів решітки розрахункова довжина елементів є відстанню між вузлами.

За результатами розрахунків та методикою чинних норм проектування, виконуємо підбір та перевірку елементів каркасу виробничої будівлі.

3.7. Загальна характеристика комп'ютерної моделі

Математична модель каркасу створена в програмному комплексі SCAD Office 21.1., в основу якого покладено метод скінченних елементів. Загальний вигляд скінченно-елементної моделі рами наведений на рис. 3.

Всі елементи змодельовані стрижневим скінченним елементом типу 5 – «просторовий стрижневий скінченний елемент».

РАМА 1

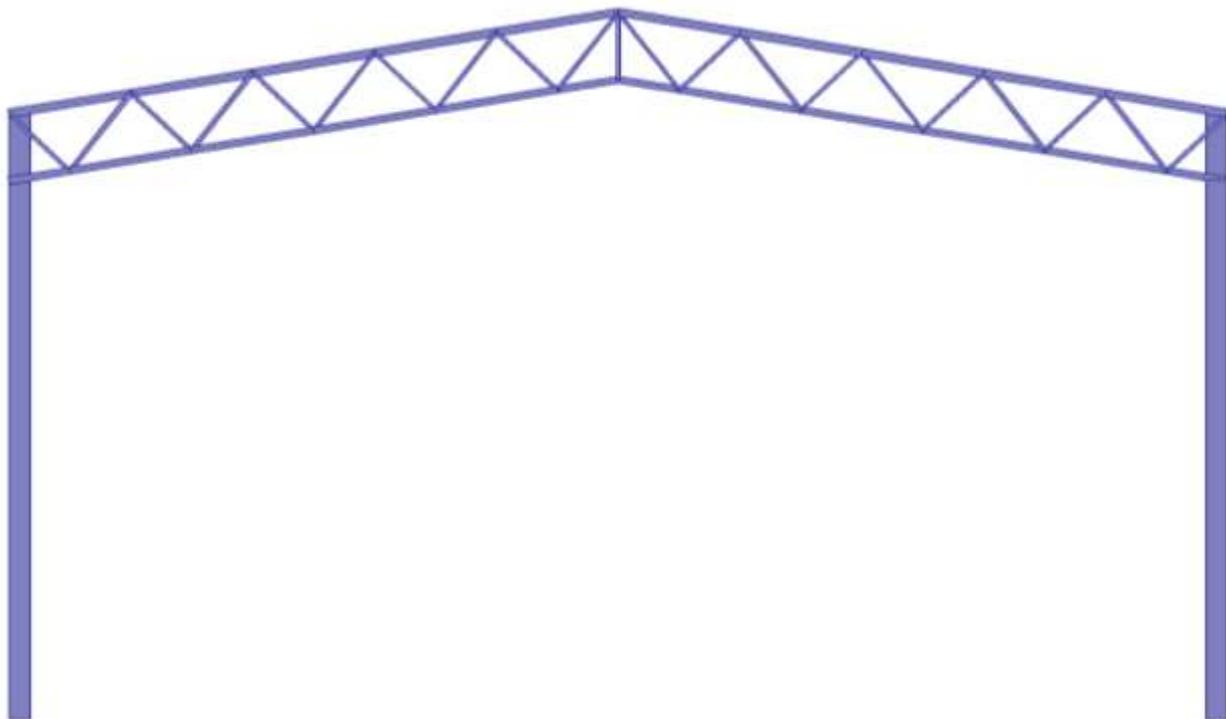


Рис.3.5. Кінцево-елементна модель рами

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.7.1. Результати розрахунку

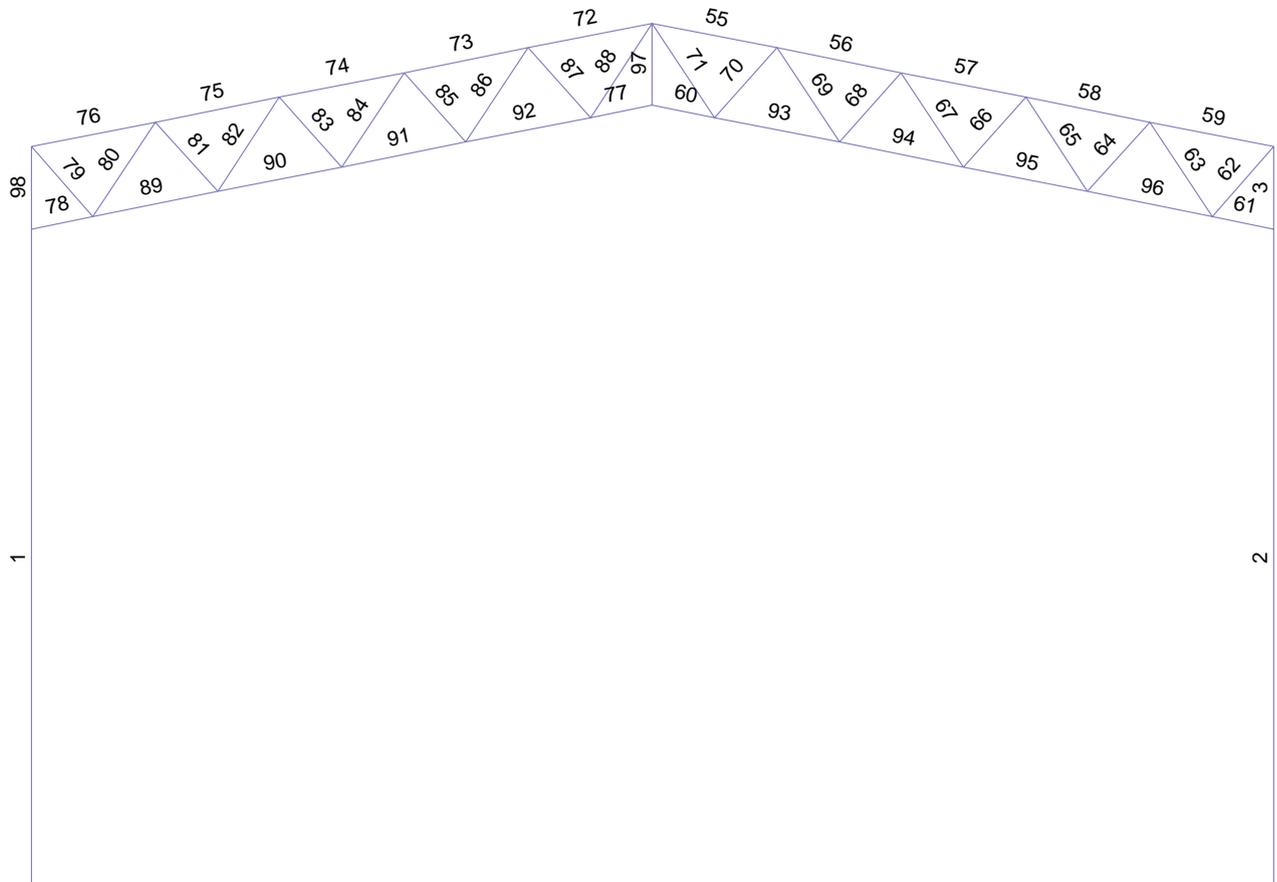


Рис.3.6. Нумерація елементів рами

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

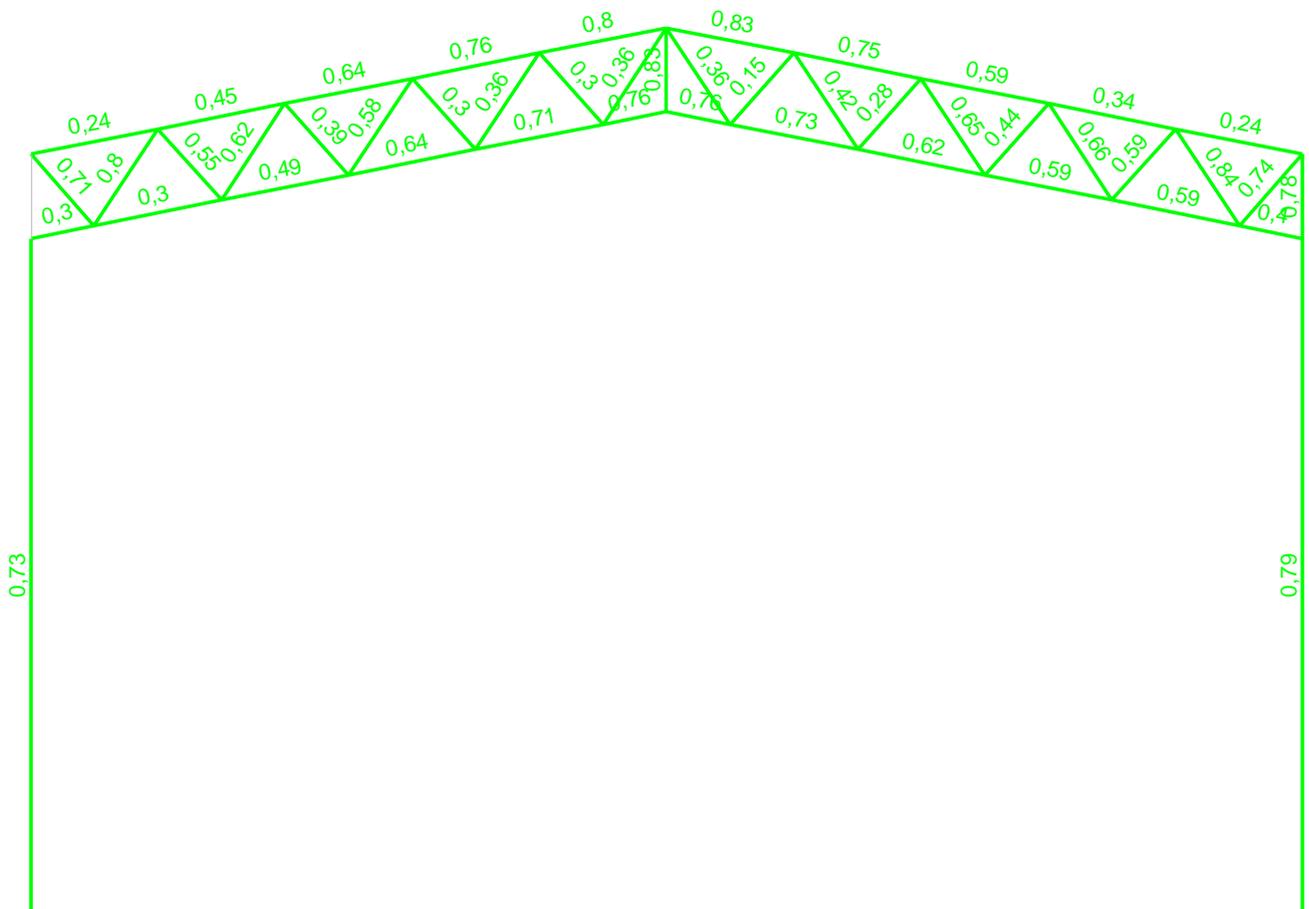


Рис.3.7. Значення критичного фактору в елементах рами

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

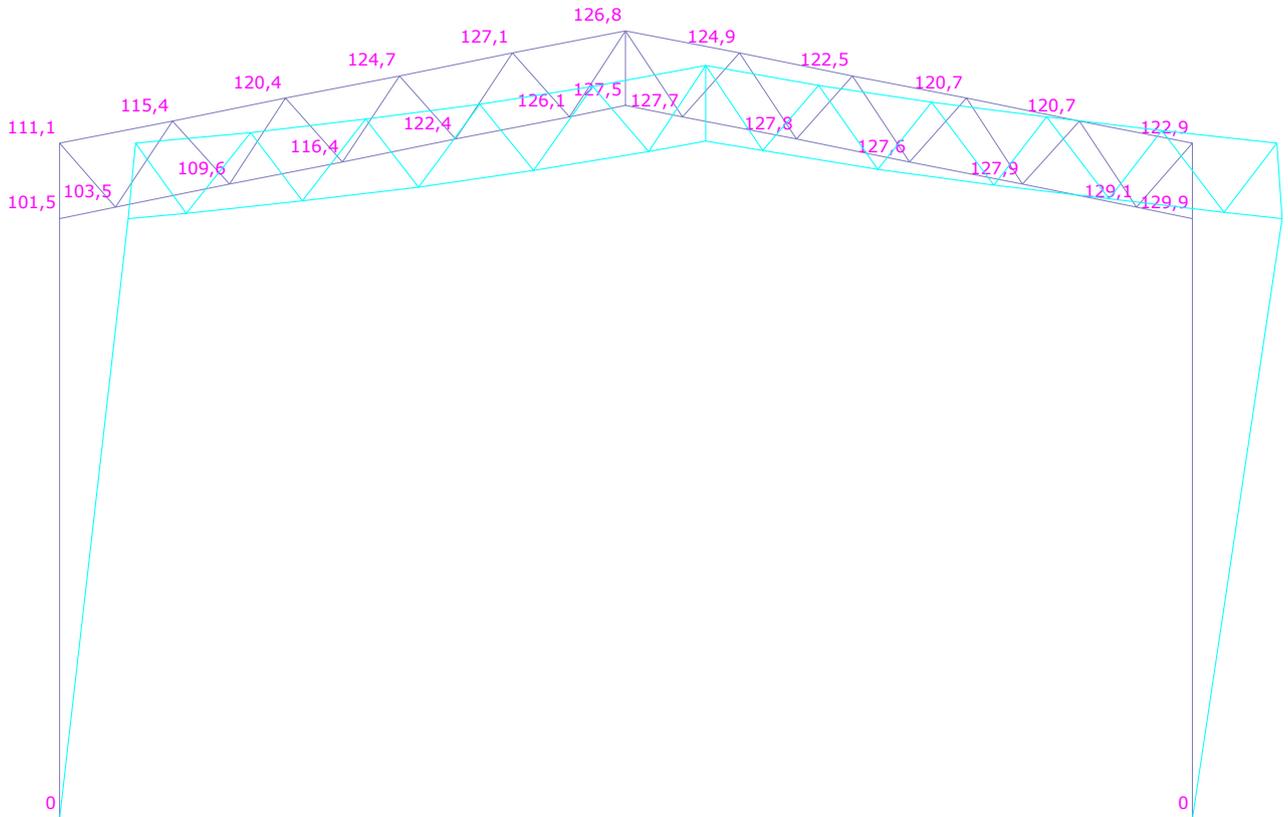


Рис.3.8. Максимальні переміщення

					601-БП-ххххххх-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.7.2. Перевірочні розрахунки елементів каркасу

Расчет выполнен по ДБН В.2.6-198:2014

Конструктивная группа К1. Элемент № 1

Сталь: С245

Длина элемента 8 м

Предельная гибкость для сжатых элементов: 200

Предельная гибкость для растянутых элементов: 400

Коэффициент условий работы 1

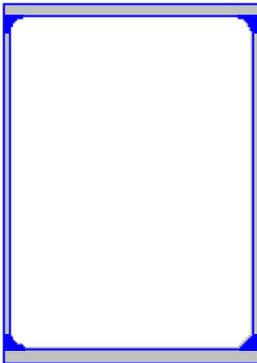
Коэффициент надежности по ответственности 0,95

Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OV_1 2

Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OU_1 1

Расстояние между точками раскрепления из плоскости изгиба 8 м

Сечение



					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Результаты расчета	Проверка	Коэффициент использования
п.9.2.1	Прочность при действии изгибающего момента M_y	0,39
п.9.2.1	Прочность при действии поперечной силы Q_z	0,02
п.10.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов	0,43
п.8.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	0,12
п.8.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	0,19
пп.10.2.2, 10.2.10	Устойчивость в плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии	0,72
пп.10.2.4, 10.2.5, 10.2.8	Устойчивость из плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии	0,61
п.8.1.3	Прочность при центральном сжатии/растяжении	0,05
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,54
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,73

Коэффициент использования 0,73 - Предельная гибкость в плоскости XOZ

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Расчет выполнен по ДБН В.2.6-198:2014
Конструктивная группа К1. Элемент № 2

Сталь: С245

Длина элемента 8 м

Предельная гибкость для сжатых элементов: 200

Предельная гибкость для растянутых элементов: 400

Коэффициент условий работы 1

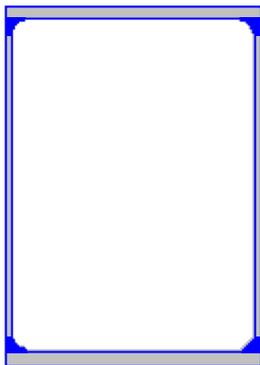
Коэффициент надежности по ответственности 0,95

Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OV_1 2

Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OU_1 1

Расстояние между точками раскрепления из плоскости изгиба 8 м

Сечение



					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Результаты расчета	Проверка	Коэффициент использования
п.9.2.1	Прочность при действии изгибающего момента M_y	0,74
п.9.2.1	Прочность при действии поперечной силы Q_z	0,02
п.10.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов	0,79
п.8.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	0,13
п.8.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	0,2
пп.10.2.2, 10.2.10	Устойчивость в плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии	0,79
пп.10.2.4, 10.2.5, 10.2.8	Устойчивость из плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии	0,67
п.8.1.3	Прочность при центральном сжатии/растяжении	0,06
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,54
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,73

Коэффициент использования 0,79 - Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РАМА 2

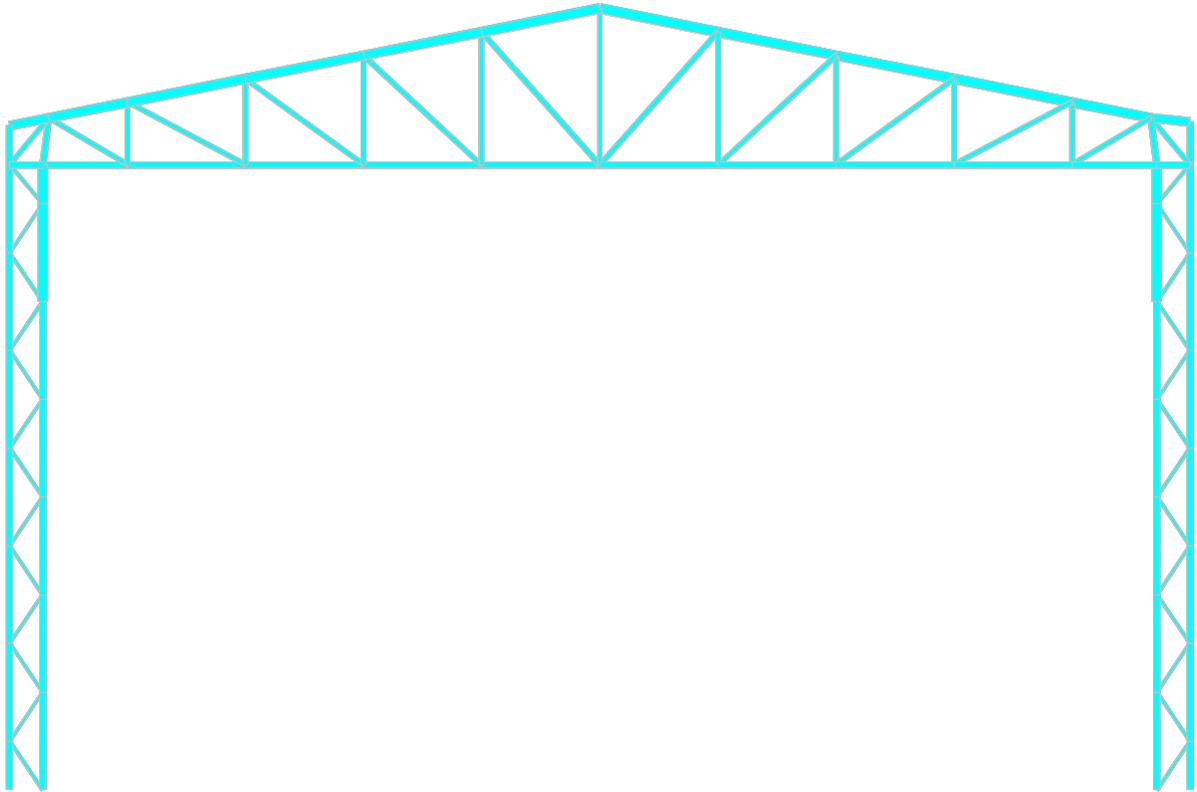


Рис.3.9. Скінченно-елементна модель рами з наскрізними колонами.

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

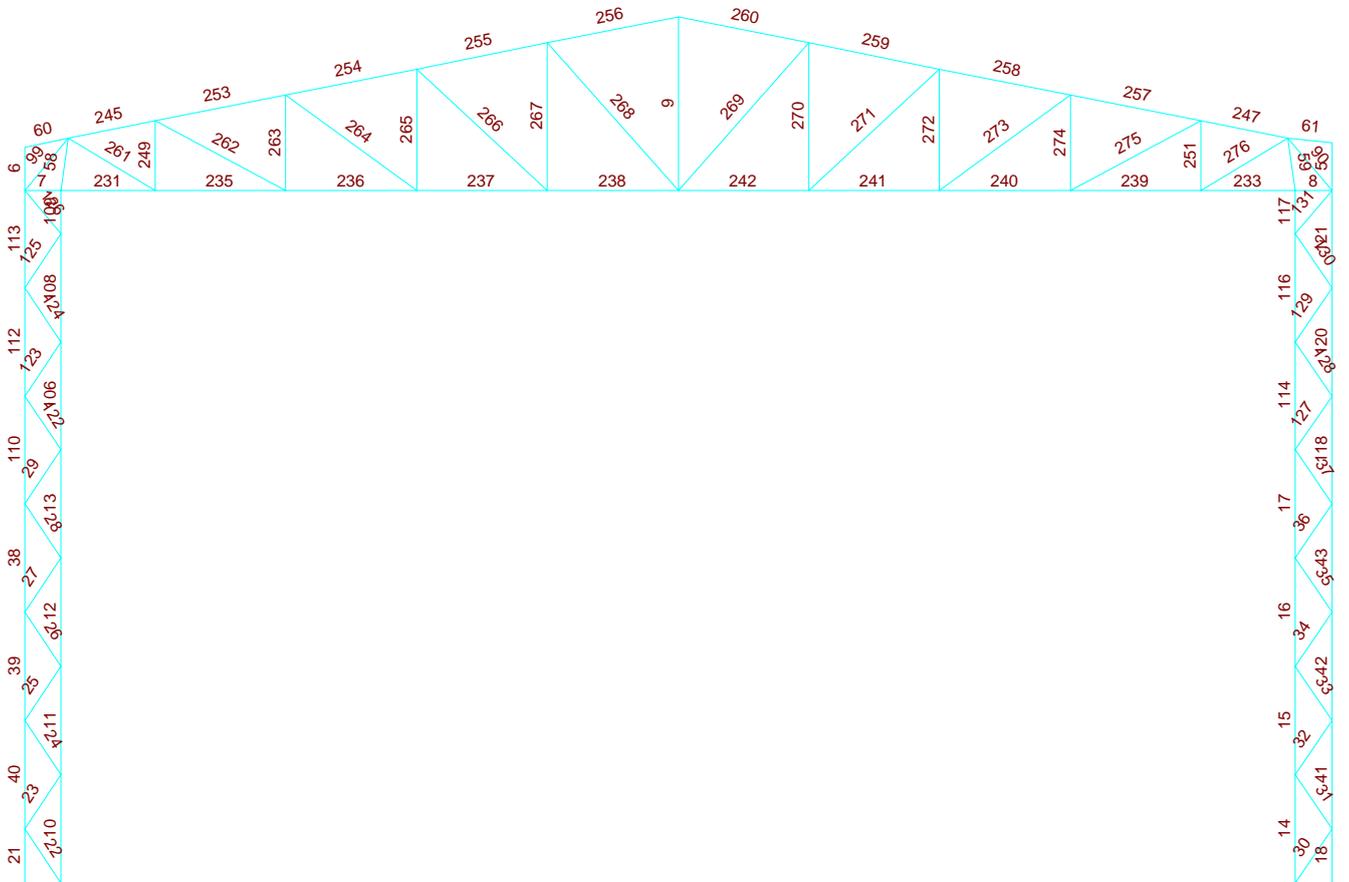


Рис.3.10. Нумерація елементів рами

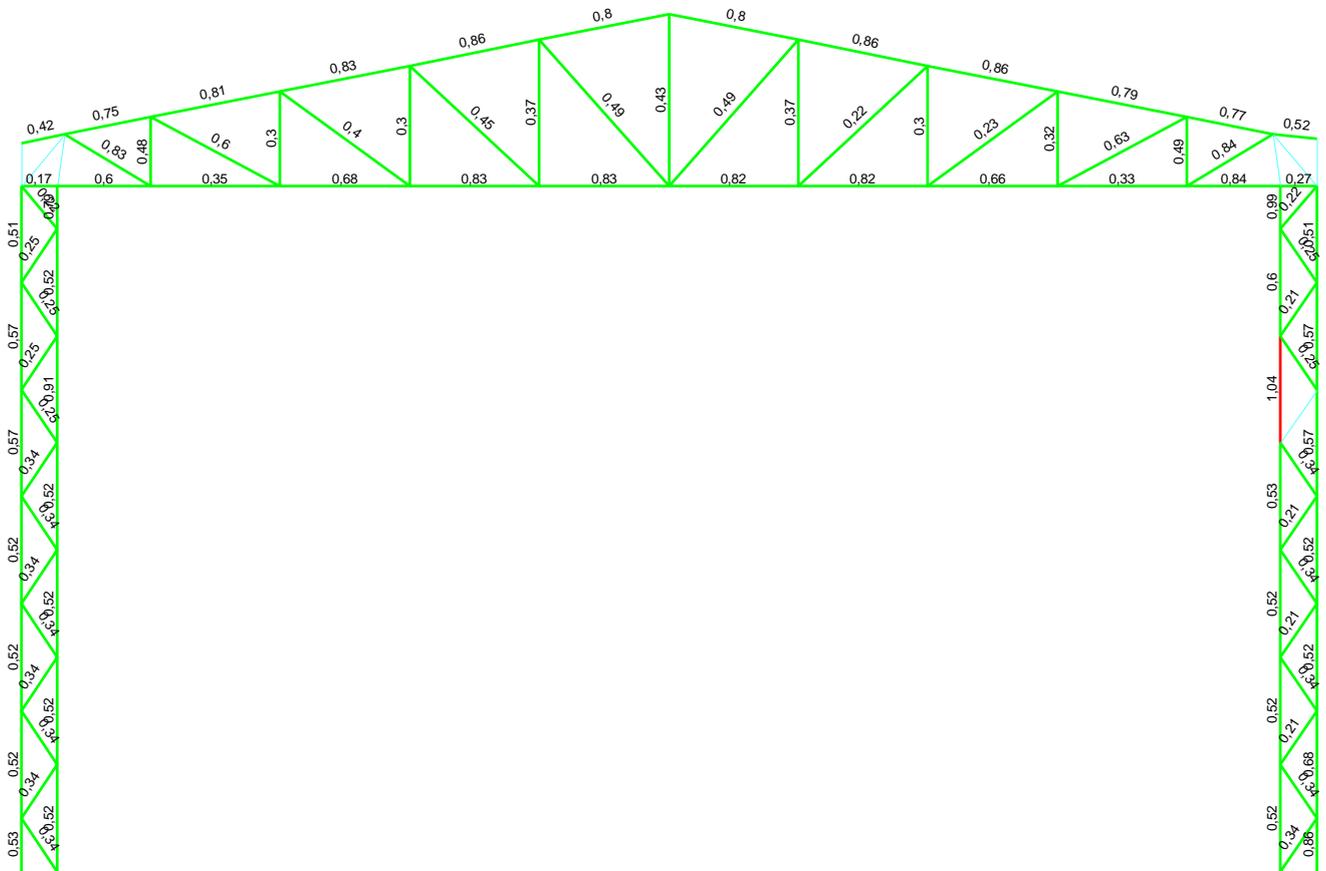


Рис.3.11. Значення критичного фактору в елементах рами

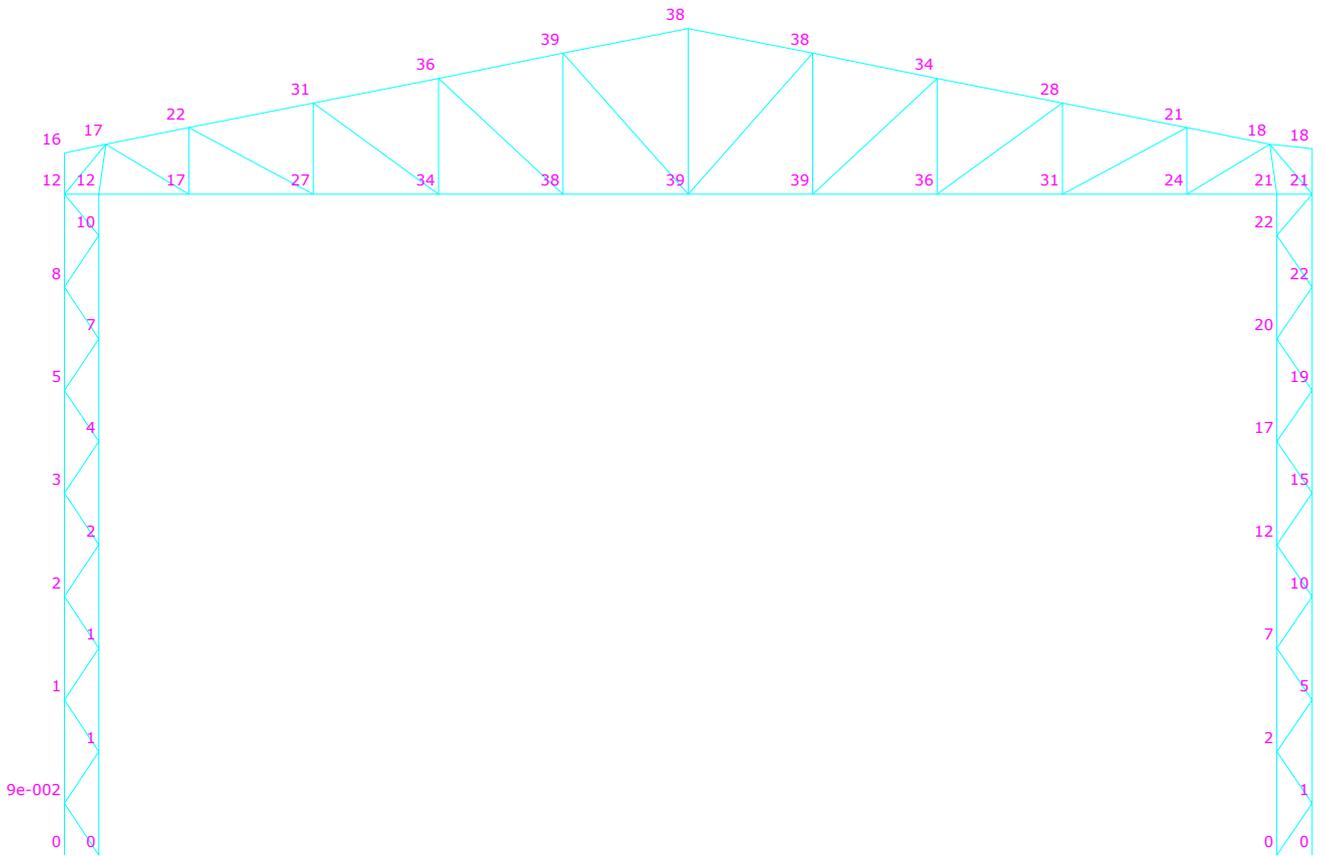


Рис.3.12. Максимальні сумарні зміщення у вузлах

					601-БП-ххххххх-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірочні розрахунки елементів каркасу

Расчет выполнен по ДБН В.2.6-198:2014

Конструктивна група К_реш. Елемент № 34

Сталь: С245

Длина элемента 0,753 м

Предельная гибкость для сжатых элементов: $180 - 60\alpha$

Предельная гибкость для растянутых элементов: 400

Коэффициент условий работы 1

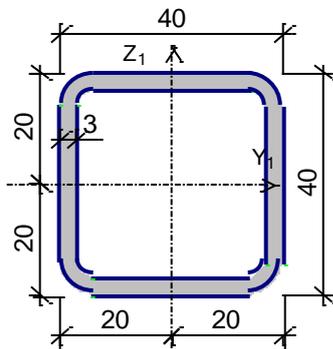
Коэффициент надежности по ответственности 1

Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OZ_1 1

Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OY_1 1

Расстояние между точками закрепления из плоскости изгиба 0,753 м

Сечение



Профиль: Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003 40x3

									Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

601-БП-xxxxxxx-ПЗ

Результаты расчета	Проверка	Коэффициент использования
п.9.2.1	Прочность при действии изгибающего момента M_y	$1,38 \cdot 10^{-003}$
п.9.2.1	Прочность при действии поперечной силы Q_z	$3,24 \cdot 10^{-004}$
п.10.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	0,1
п.8.1.3	Прочность при центральном сжатии/растяжении	0,21
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,13
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,13

Коэффициент использования 0,21 - Прочность при центральном сжатии/растяжении

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Расчет выполнен по ДБН В.2.6-198:2014
Конструктивная группа КОЛ_П. Элемент № 114

Сталь: С245

Длина элемента 1,25 м

Предельная гибкость для сжатых элементов: 200

Предельная гибкость для растянутых элементов: 400

Коэффициент условий работы 1

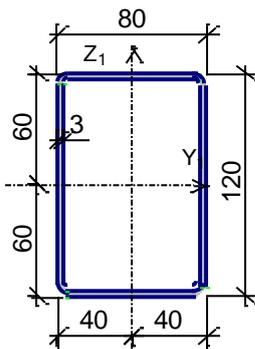
Коэффициент надежности по ответственности 1

Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OZ_1 1

Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OY_1 3

Расстояние между точками раскрепления из плоскости изгиба 1,25 м

Сечение



Профиль: Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 120x80x3

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Результаты расчета	Проверка	Коэффициент использования
п.9.2.1	Прочность при действии изгибающего момента M_z	0,08
п.9.2.1	Прочность при действии поперечной силы Q_y	0,01
п.10.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	0,57
п.8.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	0,97
п.8.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	0,5
пп.10.2.8, 10.2.10	Устойчивость в плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии	1,04
пп. 10.2.9, 10.2.10	Устойчивость при сжатии с изгибом в двух плоскостях	1,04
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,57
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,14

Коэффициент использования 1,04 - Устойчивость при сжатии с изгибом в двух плоскостях

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Расчет выполнен по ДБН В.2.6-198:2014

Конструктивная группа КОЛ_П. Элемент № 121

Сталь: С245

Длина элемента 1,125 м

Предельная гибкость для сжатых элементов: 200

Предельная гибкость для растянутых элементов: 400

Коэффициент условий работы 1

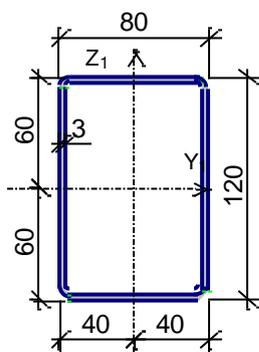
Коэффициент надежности по ответственности 1

Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OZ_1 1

Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OY_1 3

Расстояние между точками раскрепления из плоскости изгиба 1,125 м

Сечение



Профиль: Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 120x80x3

									Арк.	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	601-БП-xxxxxxx-ПЗ					

Результаты расчета	Проверка	Коэффициент использования
п.9.2.1	Прочность при действии изгибающего момента M_z	0,08
п.9.2.1	Прочность при действии поперечной силы Q_y	$1,59 \cdot 10^{-003}$
п.10.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	0,12
п.10.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	$8,52 \cdot 10^{-004}$
п.8.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	$1,4 \cdot 10^{-003}$
п.8.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	$8,47 \cdot 10^{-004}$
пп.10.2.8, 10.2.10	Устойчивость в плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии	$1,4 \cdot 10^{-003}$
пп. 10.2.9, 10.2.10	Устойчивость при сжатии с изгибом в двух плоскостях	$1,4 \cdot 10^{-003}$
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,51
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,13

Коэффициент использования 0,51 - Предельная гибкость в плоскости XOY

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструктивная группа ПОЯС_ПДС. Элемент № 117

Сталь: С235

Длина элемента 0,5 м

Предельная гибкость для сжатых элементов: 200

Предельная гибкость для растянутых элементов: 400

Коэффициент условий работы 1

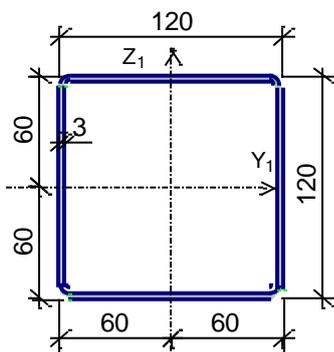
Коэффициент надежности по ответственности 1

Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OZ_1 1

Коэффициент расчетной длины в плоскости X_1OY_1 1

Расстояние между точками раскрепления из плоскости изгиба 0,5 м

Сечение



Профиль: Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003 120x3

									Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

601-БП-xxxxxxx-ПЗ

Результаты расчета	Проверка	Коэффициент использования
п.9.2.1	Прочность при действии изгибающего момента M_z	0,39
п.9.2.1	Прочность при действии поперечной силы Q_y	0,09
п.10.1.1	Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	0,99
п.8.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOY (XOU)	0,6
п.8.1.3	Устойчивость при сжатии в плоскости XOZ (XOV)	0,6
пп.10.2.8, 10.2.10	Устойчивость в плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии	0,85
пп.10.2.4, 10.2.5, 10.2.8	Устойчивость из плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии	0,94
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOY	0,05
п.13.4.1	Предельная гибкость в плоскости XOZ	0,05

Коэффициент использования 0,99 - Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.8. Порівняння варіантів поперечних рам

За допомогою Tekla Structures 2017 були розроблені робочі креслення двох обраних рам.

У таблиці 1 наведені результати порівняння ваги колон суцільного та наскрізного перерізу

У процесі проектування виробничої будівлі складського типу було розглянуто два варіанти поперечних рам каркасу:

- Колони з суцільним перерізом (два швелера «в коробочку»), а ригель - кроквяна ферма з гнутих зварних профілів;
- Наскрізні колони з гнутих зварних профілів, ригель – кроквяна ферма.

Спирання колон на фундаменти шарнірне, а з'єднання колон з фермами жорстке.

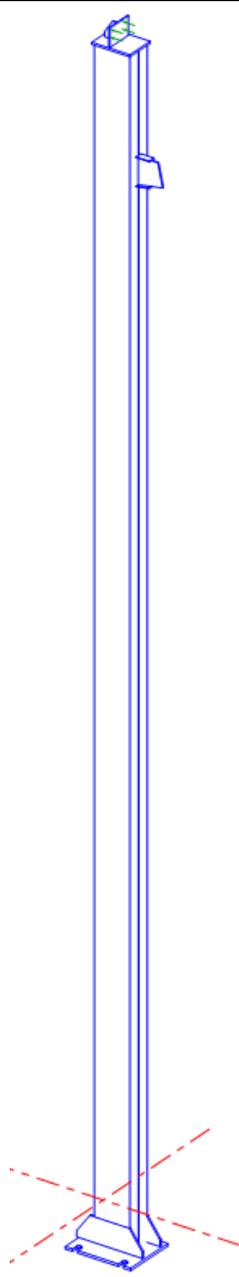
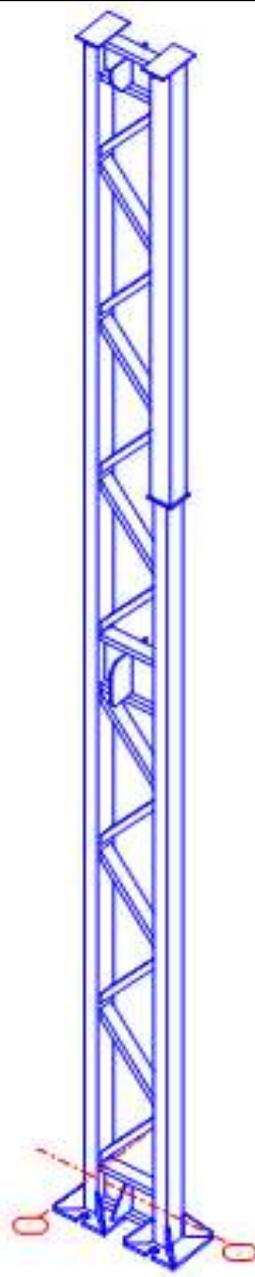
3.8.1. Порівняння мас колон

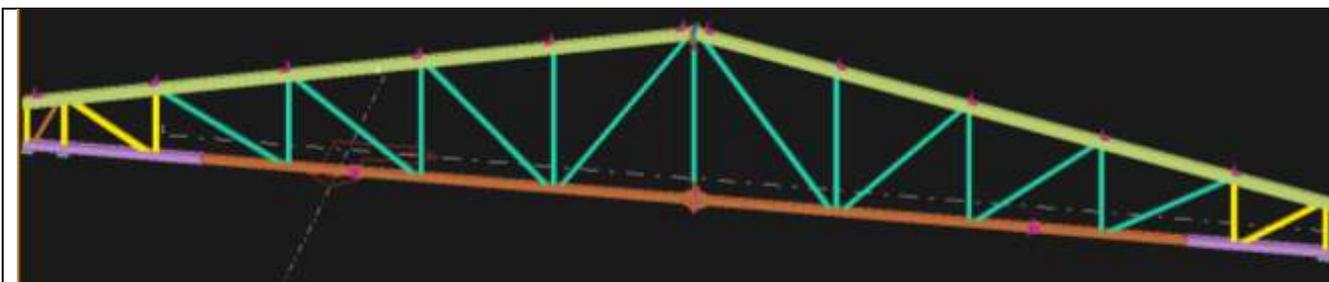
Виходячи з міркувань оптимізації металоємності каркасу, необхідно було отримати найвдалішу колону для проектування. Таким чином, у програмі Tekla Structures 2017, отримано відомості металу щодо мас двох типів досліджуваних колон (наскрізної та суцільної), які наведено у **таблиці 3.1.**

Згідно отриманих даних, для проектування виробничої одноповерхової безкранової будівлі складського типу, було вибрано наскрізну колону з гнутих зварних профілів. Таке рішення прийнято, оскільки її маса приблизно у 1.8 раз менша за колону з двох швелерів, при однакових навантаженнях, які вони на себе сприймають.

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1. Порівняння мас суцільної та наскрізної колони

Варіант 1 Суцільна колона (два швелера «в коробочку»)		Варіант 2 Наскрізна колона з гнutoзварних профілів	
			
Профіль	Чиста вага, кг	Профіль	Чиста вага, кг
[27	513.4	Гнз80Х40Х3	53.8
—6 мм	0.5	Гнз120Х80Х4	156.7
—8 мм	2.8	Гнз120Х120Х4	42.7
—10 мм	2.4	—6 мм	0.4
—12 мм	16.0	—8 мм	24.0
—16 мм	8.0	—10 мм	14.6
—20 мм	30.0	—20 мм	26.9
Всього:	573.1	Всього:	319.2



Сборка Информация

Марка: #1-13
 Профиль главной детали: Гнз120Х80Х3
 Площадь покраски: 9.82 мІ
 Вес: 245.0 kg
 Размеры: W: 420 H: 2218 L: 7771
 Центр тяжести: X: 18000 Y: 4016 Z: 8658
 Верхний уровень: +10.165
 Нижний уровень: +7.930
 Число сборок: 1
 Всего: 0.24 T, 7.77 m

Детали	Позиция детали	Профиль	Материал
1	14	Гнз120Х80Х3	C245
1	1	-20*160	C245
1	2	-20*220	09Г2С-12
1	4	-10*140	C245
2	5	-10*130	C245
4	11	-8*70	C245
1	12	Гнз120Х80Х4	C245
1	15	Гнз60Х60Х3	C245
1	16	Гнз60Х60Х3	C245
1	17	Гнз60Х60Х3	C245
1	29	Гнз60Х60Х3	C245
1	32	Гнз80Х40Х3	C245
1	33	Гнз50Х50Х3	C245
1	39	Гнз50Х50Х3	C245
1	40	Гнз50Х50Х3	C245
1	41	Гнз50Х50Х3	C245
1	42	Гнз50Х50Х3	C245
2	43	-8*70	C245
1	45	Гнз80Х80Х4	C245
6	46	L90Х6	C245
2	49	-8*100	C245
2	50	-8*100	C245
1	60	Гнз50Х50Х3	C245
1	62	Гнз50Х50Х3	C245
2	87	-8*100	C245
1	90	L90Х6	C245
1	148	L90Х6	C245
1	204	Гнз50Х50Х3	C245

Отже, враховуючи результати даного підрозділу, доцільніше обрати наскрізну колону, оскільки при однакових вхідних даних її маса майже у два рази менше ніж у суцільної колони.

Висновки за розділом 3

- Обґрунтовані раціональні конструктивні схеми для каркасів одноповерхових виробничих будівель «легкого типу»
- Виконано, за допомогою комплексу SCAD, розрахунки поперечних рам одноповерхових виробничих будівель з різними конструктивними схемами
- Проведено аналіз напружено-деформованого стану елементів поперечних рам з різними конструктивними схемами
- Пораховані техніко-економічні показники елементів поперечної рами для різних варіантів конструктивних схем
- Для колон з гнучкість більше 100 при однакових вихідних умовах варіант наскрізних колон з гнутозварних профілів є ефективнішим (до 1.5...1.8 раз) ніж колони з суцільними перерізами, ця особливість проявляється більш явно, при цьому забезпечується більша поперечна жорсткість рами.
- Конструктивна схема наскрізного ригеля, як правило не впливає на загальні витрати матеріалу на каркас

					601-БП-xxxxxxx-ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4
РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПРОЕКТУВАННЯ ЛЕГКИХ КАРКАСІВ
ОДНОПОВЕРХОВИХ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ
З ВИКОРИСТАННЯМ ГНУТОЗВАРНИХ ПРОФІЛІВ

У процесі виконання дослідження конструктивних рішень легких каркасів з використанням гнutoзварних профілів та проектування реальної будівлі, виявлено наступне:

- Для легких однопролітних каркасів раціональним є застосування наскрізних колон у поперечних рамах як основний несучий елемент. При цьому рекомендується шарнірне спирання колон на фундаменти та жорстке з'єднання з ригелем
- Виходячи з характеру епюри згинальних моментів, максимальний момент знаходиться у карнизному вузлі рами. Це потребує підсилення елементів ферми і колони у місці з'єднання (рис. 4.1).

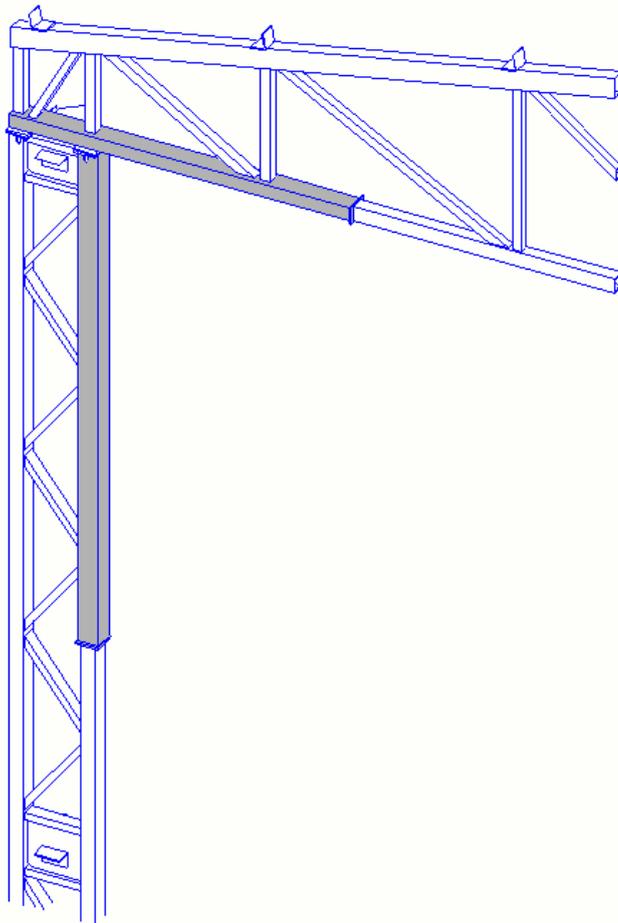


Рис.4.1. Підсилення елементів карнизного вузла рами.

- Поздовжні зусилля в решітці наскрізної колони таких рам мають відносно незначні значення, що не призводить до продавлювання стінки гілки, виконаних з гнutoзварних профілів
- Для ферми перевірка на продавлювання стінки залишається обов'язковою

- Досвід проектування показує, що подібні конструктивні схеми також можливі при використанні у будівлях з опорними кранами вантажопідйомністю до 3 тс. (див. рис. 4.2)

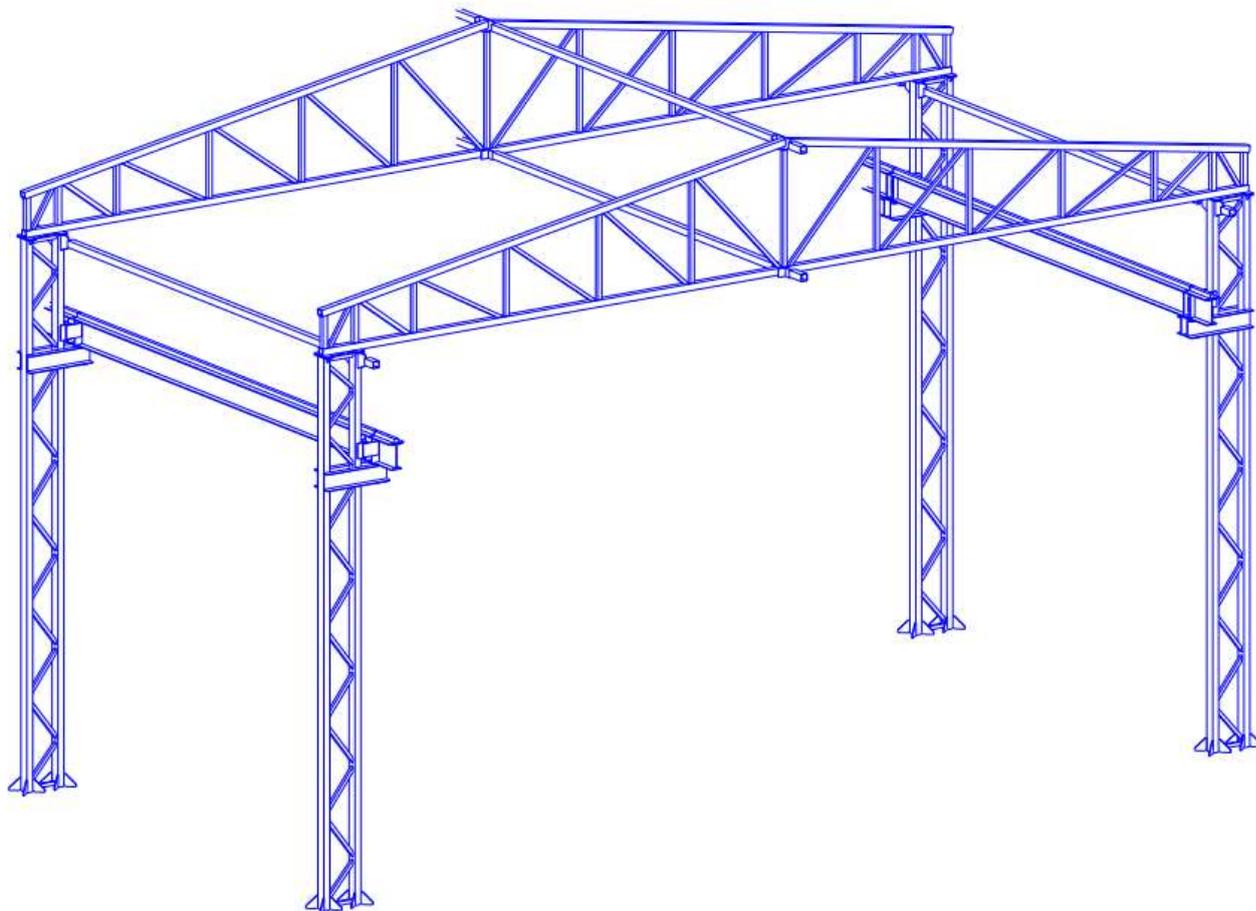


Рис.4.2. Каркас з опорним краном

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

З результатами проведених досліджень конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнutoзварних профілів, можна зробити наступні висновки:

1. Найбільш раціональною областю використання колон з гнз це легкі каркаси виробничих будівель безкранового типу з гнучкими колонами.
2. З досвіду проектування подібних об'єктів можливе використання таких колон для каркасів з опорними кранами легкого режиму роботи і вантажопідйомністю до 3тс.
3. Для колон з гнучкістю більше 100 каркасів легких будівель при однакових вихідних умовах варіант наскрізного перерізу з гнutoзварних профілів є ефективнішим ніж колони з суцільними перерізами.
4. Використання наскрізних колон дозволяє зменшити масу конструкцій у 1.5...1,8 у порівнянні з суцільними перерізами. При цьому наскрізна колона забезпечує більшу поперечну жорсткість рами.
5. Виготовлення з гнutoзварних профілів не потребує спеціального технологічного обладнання у порівнянні з виготовленням конструкцій легким сталевими тонкостінними конструкціями (ЛСТК), балками з гофрованими стінками (sin-балки), балки з перфорованою стінкою тощо, що зменшує вартість будівництва об'єктів.

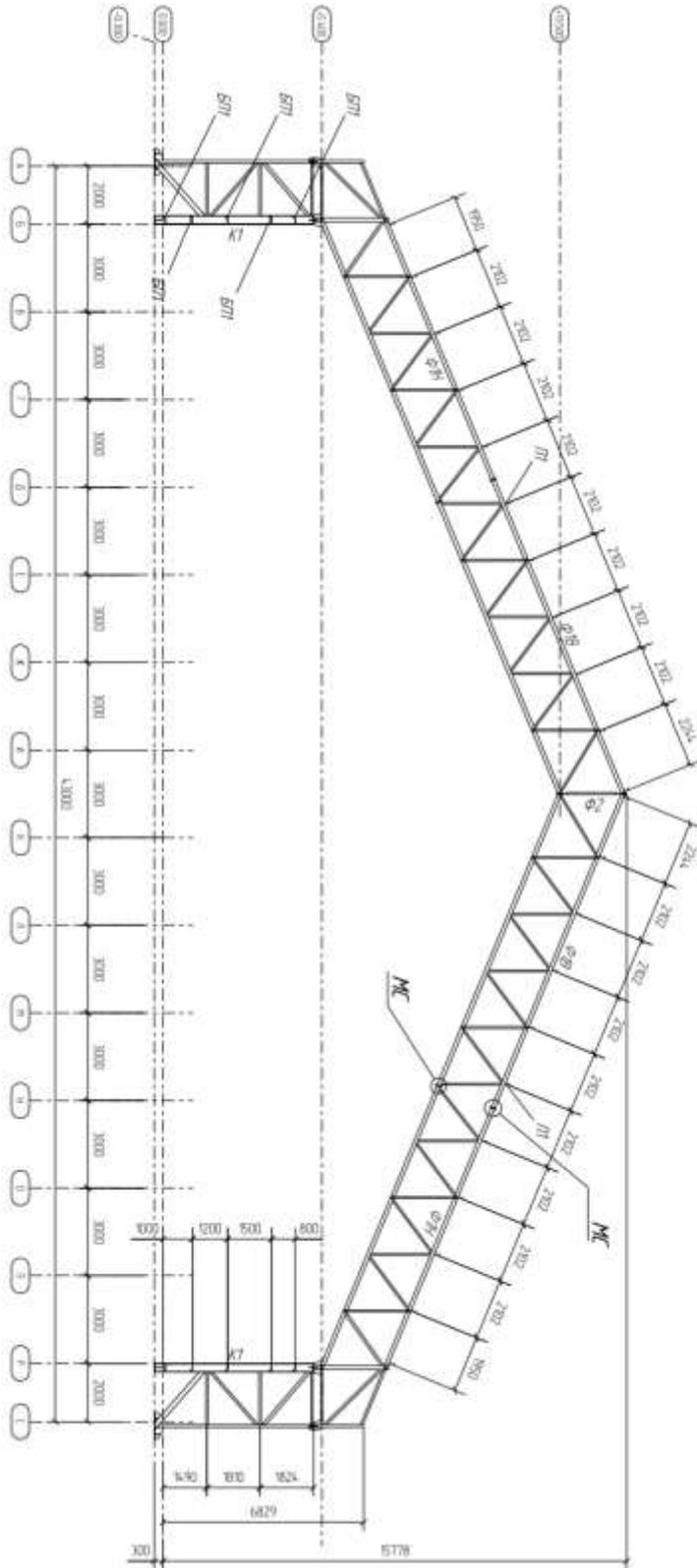
Список використаних літературних джерел

- 1] Налєпа О. І., Конспект лекцій з дисципліни „Металеві конструкції”, Рівне: НУВГП, 2012.
- 2] Клименко Ф. Є., Барабаш В. М., Стороженко Л. І. Металеві конструкції / За ред. Ф. Є. Клименка: Підручник.- 2-ге вид., випр. і доп – Львів: Світ, 2002. – 312 с.: 320 іл..
- 3] П. С.Ф., Курс лекцій із дисципліни «Металеві конструкції» для студентів, які проходять підготовку бакалаврів за спеціальністю 0901 «Будівництво та цивільна інженерія». Частина 2 «Сталеві каркаси одноповерхових виробничих будівель (ОВБ)» –, Полтава: ПолтНТУ, 2018.
- 4] П. С. Ф., конспект лекцій по металокопструкціям, Полтава, 2018.
- 5] Будівельні конструкції: навчальний посібник / авт.. кол.Т.М. Пащенко, О.О. Сліпич, І.Б. Дремова – К. : ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2015. – 310 с..
- 6] Металеві конструкції. Купченко Ю. В., Сінгаївський П. М. : Навч. пос. для будівельних навчальних закладів. / Одеса : ОДАБА, 2018 р. - 229 с..
- 7] Металоемність будівель і споруд : оптимальні значення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу <https://ntkzavod.com.ua/ua/stati/metaloemkost-zdanij-i-sooruzhenij-optimalnye-znacheniya/>..
- 8] Український центр сталевих будівництва. МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ВАРТОСТІ СТАЛЕВОГО КАРКАСУ [Електронний ресурс] / Український центр сталевих будівництва – Режим доступу до ресурсу: <https://uscc.ua/metody-znizhennya-varnosti-stalevogo-karkasu>..
- 9] Б. В. А., «Нові конструктивні рішення легких конструкцій одноповерхових промислових будівель,» *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського.*, № 11, рр. 5-11, 2013.
- 10] Брудка Я., Лубиньски М. Легкие стальные конструкции. Изд. 2-е, доп. Пер. с польск. Под ред. С. С. Кармилова. М., Стройиздат, 1974, 342 с..
- 11] Легкие конструкции сельскохозяйственных зданий / Л. Е. Дробязко. – Київ: Будівельник, 1985. – 136 с..
- 12] Нові ресурсоекономні конструкції з профільних труб [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/870>..
- 13] С. Ф. Пічугін, В. О. Семко, Д. А. Прохоренко, ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ НОВОМУ БУДІВНИЦТВІ ЛЕГКИХ СИСТЕМ, ЩО ШВИДКО МОНТУЮТЬСЯ, Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка , 2010.
- 14] Pichugin, S., Chichulin, V. i Chichulina, K. (2017) Просторові конструкції із замкнених профілів, ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering. Полтава: ПНТУ, 1(48), с. 138-143. doi: <https://doi.org/10.26906/znp.2017.48.787>..
- 15] С. Ф. Пічугін, В. П. Чичулін, К. В. Чичуліна, Пропозиції нових сталевих конструкцій із замкнених профілів, *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського* – Київ: «Сталь», 2016. – С. 4–17..
- 16] МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ВАРТОСТІ СТАЛЕВОГО КАРКАСУ [Електронний ресурс] // УЦСБ – Режим доступу до ресурсу: <https://uscc.ua/metody-znizhennya-varnosti-stalevogo-karkasu>.
- 17] УЦСБ, «ВАРТІСТЬ СТАЛЕВОГО КАРКАСУ,» [З мережі]. Available: <https://uscc.ua/varnist-stalevogo-karkasu>.
- 18] ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-1. Загальні дії. Питома вага, власна вага, експлуатаційні навантаження для споруд (EN 1991-1-1:2002, IDT).
- 19] ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT).
- 20] ДСТУ-Н Б EN 1991-1-3:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-3. Загальні дії. Снігові навантаження (EN 1991-1-3:2003, IDT).
- 21] ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-4. Загальні дії. Вітрові навантаження (EN 1991-1-4:2005, IDT).
- 22] ДСТУ-Н Б EN 1991-1-7:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-7. Загальні дії. Особливі динамічні впливи (EN 1991-1-7:2006, IDT).
- 23] ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT).
- 24] ДСТУ-Н Б EN 1993-1-5:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-5. Пластинчасті конструктивні елементи (EN 1993-1-5:2006, IDT).

- 25] ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1993-1-1:2005, IDT).
- 26] ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування [Чинний від 2015-01-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 199 с..
- 27] ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2019-01-01]. -К. : Мінбуд України, 2018. – 30 с..
- 28] ДБН. В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Мінбуд України, 2006. – 75 с.
- 29] УЦСБ, «ПРОМИСЛОВО-СКЛАДСЬКІ БУДІВЛІ З ПРОЛЬОТАМИ 15, 18, 24, 30 М УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З ЛЕГКИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ - ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДАТА-СПМ,» [3 мережі]. Available: <https://uscc.ua/promislovo-skladski-budivli-z-prolotami-15-18-24-30-m>.
- 30] Стальные складчатые конструкции в строительстве / Я. Брудка, Р. Гарнцарек, К. Милачевски; Пер. с пол. Л. Б. Шарина.- К. : Будивельник, 1989.- 152 с.: ил..
- 31] ЛСТК [Електронний ресурс] // Український центр сталевих будівництва – Режим доступу до ресурсу: <https://uscc.ua/lstk>.
- 32] ОЛЕКСАНДР МАРТИНЮК: «ЗМЕНШЕННЯ МЕТАЛОЄМНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ НА 30 % ЗАВДЯКИ ЗАСТОСУВАННЮ ГОФРОБАЛКИ - ЦІЛКОМ РЕАЛЬНО» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uscc.ua/news/aleksandr-martynuk-umensenie-metalloemkosti-konstrukcii-na-30-blagodara-primeneniu-gofrobalki-vpolne-realno>.
- 33] Сталеві холодноформовані тонкостінні конструкції [Текст]: монографія / В. О. Семко. – Полтава: ТОВ “АСМІ”, 2017. – 325 с..
- 34] Що собою являють і де застосовуються легкі будівельні конструкції (ЛСТК) [Електронний ресурс] // Корпорація ПРОМСТАН – Режим доступу до ресурсу: <https://www.promstan.com.ua/ua/articles/chto-soboj-predstavljajut-lstk..>
- 35] Легкі сталеві тонкостінні конструкції (ЛСТК) [Електронний ресурс] // ТермаСтіл – Режим доступу до ресурсу: <https://thermasteel.ua/lstk..>
- 36] Сучасні проблеми надійності в будівництві: Навчальний посібник (теоретична частина курсу)/ С.Ф. Пічугін.- Полтава: НУ ПП, 2023. - 254 с..
- 37] Лекція 5. Коефіцієнти умов роботи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://studfile.net/preview/7795698/..](https://studfile.net/preview/7795698/)
- 38] Український центр сталевих будівництва. ПРОЄКТУВАННЯ ПО ЄВРОКОДАМ [Електронний ресурс] / Український центр сталевих будівництва – Режим доступу до ресурсу: <https://uscc.ua/proyektuvannya-po-evrokodam..>
- 39] Міністерство розвитку громад та територій України. Уряд затвердив Концепцію впровадження в Україні ВІМ-технологій у будівництві [Електронний ресурс] / Міністерство розвитку громад та територій України – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kmu.gov.ua/new>.
- 40] Тема 3. ВІМ-технології: поняття, історія розвитку, перспективи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://elearn.nubip.edu.ua/mod/book/view.php?id=333304&chapterid=115635..>
- 41] L. J. Segerlind, Applied finite element analysis, 1984.
- 42] Теоретические основы [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://scadsoft.com/help/SCAD/Theory/ru/index.htm#t=Theory1049_rtf%2FPrinciples_of_theory.htm..
- 43] Л. Сегерлинд, Применение метода конечных элементов, Москва: Мир, 1979.
- 44] Є. С.В., Конспект лекцій "Методи аналізу, моделювання та оптимізації процесів ОМТ ", Кам'янське, 2016.
- 45] O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor та J. Z. Zhu., The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. Sixth edition, Butterworth-Heinemann, 2005.
- 46] Карпіловський В.С. Метод скінченних елементів і задачі теорії пружності. – Київ: «Софія А», 2022. – 275 с..
- 47] Бібліотека скінченних елементів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://scadsoft.com/help/SCAD/FEMLib/ru/index.htm#t=FEMLib1049_rtf%2FGeneral_Issues.htm..
- 48] SCAD [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://scadsoft.com/help/SCAD/ru/index.htm#t=SCAD1049%2Fabout_SCAD.htm..
- 49] Обчислювальний комплекс для міцнісного аналізу конструкцій методом скінченних елементів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://scadsoft.com/ua/products/scad>.

[50] Розрахунок будівельних конструкцій в обчислювальному комплексі SCAD : навч. посіб. /Р. А. Шмиг, І. М. Добрянський ; за заг. ред. Р. А. Шмига. – Львів : Ліга Прес, 2015. – 79 с..

Додатки
Додаток А
Зерносховище

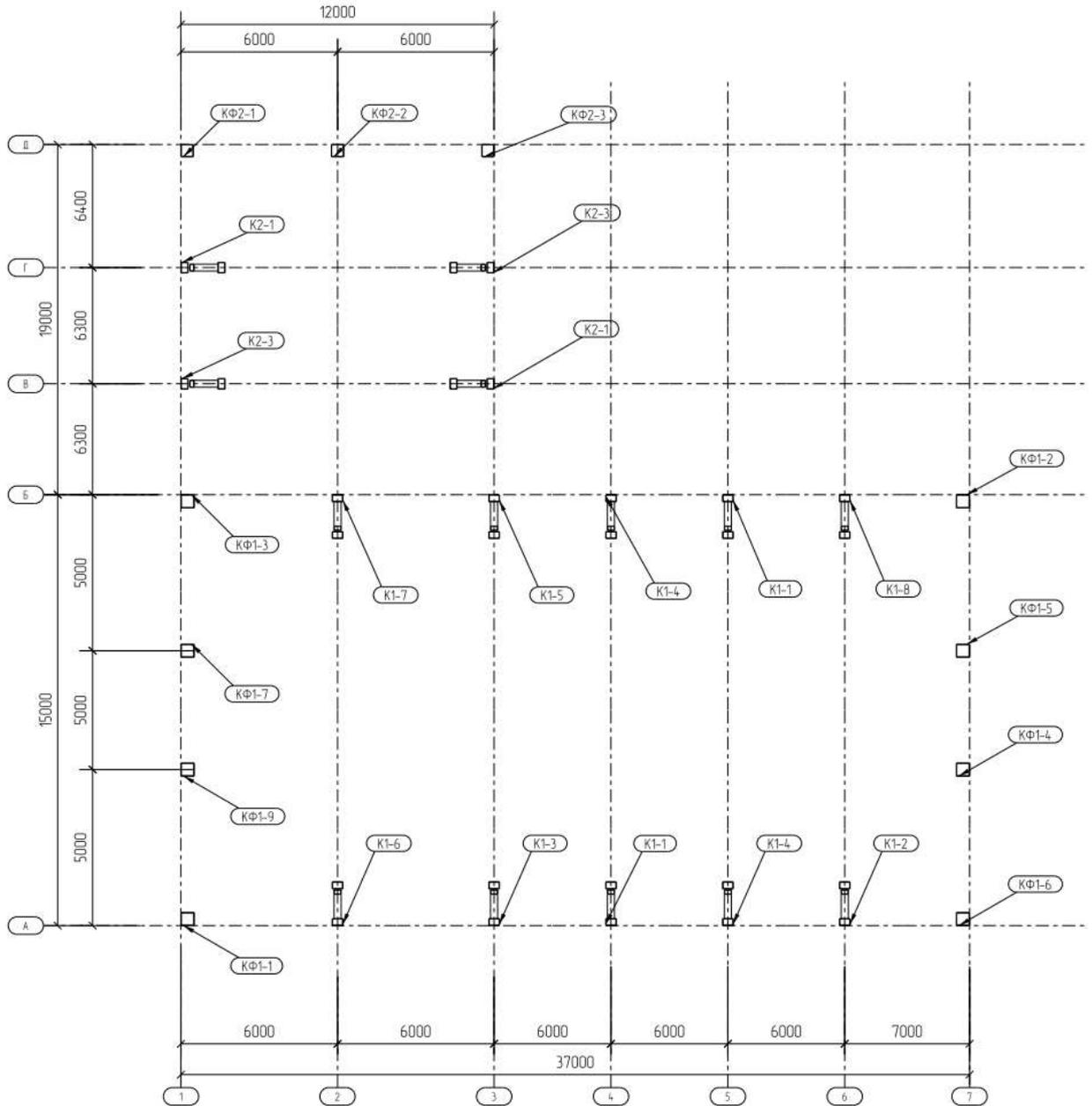


Розріз по осі 12

Додаток В

Виробнича будівля безкранова (план)

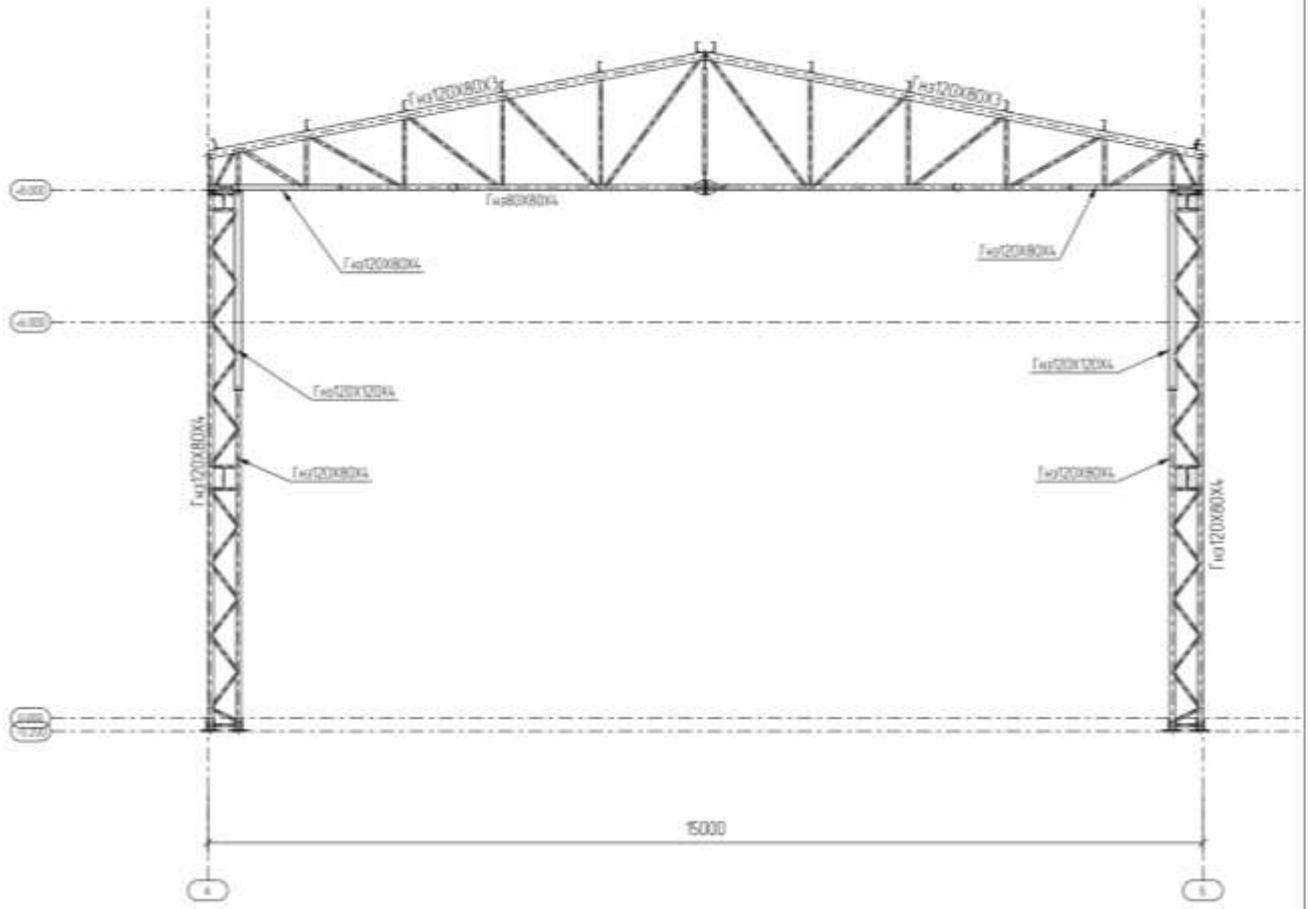
План на відм. 0.000



Додаток Г

Виробнича безкранова будівля(розріз)

Розріз по осі 6



Додаток Г

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України
Національний університет
"Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"
Кафедра будівництва та цивільної інженерії



ГРАФІЧНА ЧАСТИНА
до дипломної роботи
на тему: "Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель
з використанням сталевих гнучозварних профілів"

Виконав студент групи 601БП
спеціальності 192 "Будівництво
та цивільна інженерія"
Трусов А. К.

Керівник: д.т.н., професор
Семко О. В.

Полтава 2024

Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнutoзварних профілів
 Метою роботи є дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнutoзварних профілів.

Задачі дослідження:

1. Вивчення вітчизняного та закордонного досвіду проектування легких каркасів виробничих будівель .
2. Дослідження конструктивних схем каркасів.
3. Розробка методики використання сучасних технологій проектування металевих конструкцій за допомогою застосування BIM.
4. Проектування реальної виробничої будівлі з легким каркасом з використанням гнutoзварних профілів .
5. Порівняння матеріалоємності каркасів виробничих будівель з різними конструктивними схемами , а саме два варіанти рам з використанням колон суцільного перерізу та наскрізних колон з гнutoзварних профілів .
6. Визначити область раціонального використання колон з гнutoзварних профілів для каркасів легкого типу .

Об'єкт дослідження: сталеві колони каркасу однопролітної, одноповерхової виробничої будівлі легкого типу.

Предмет дослідження: оптимальні перерізи та конструктивні рішення, які мінімізують витрати матеріалу на

конструкції

Новизна: отримані результати досліджень та аналіз існуючих варіантів конструктивних рішень , на основі яких розроблено проектне рішення реальної будівлі, можуть бути використані для проектування подібних конструкцій .

Практичне значення результатів дослідження: використання запроєктованих колон зменшує витрати на матеріали , скорочує терміни будівництва , спрощує монтажні роботи.

Актуальність теми обумовлена високою потребою в легких швидкокомтованих будівлях для виготовлення і зведення яких не використовується високотехнологічне та спеціальне вантажопід'ємне обладнання . Такі будівлі можуть використовуватися як будівлі з гнучкими технологічними процесами , будівлі логістичного призначення та будівлі для зберігання та переробки сільськогосподарської продукції тощо .

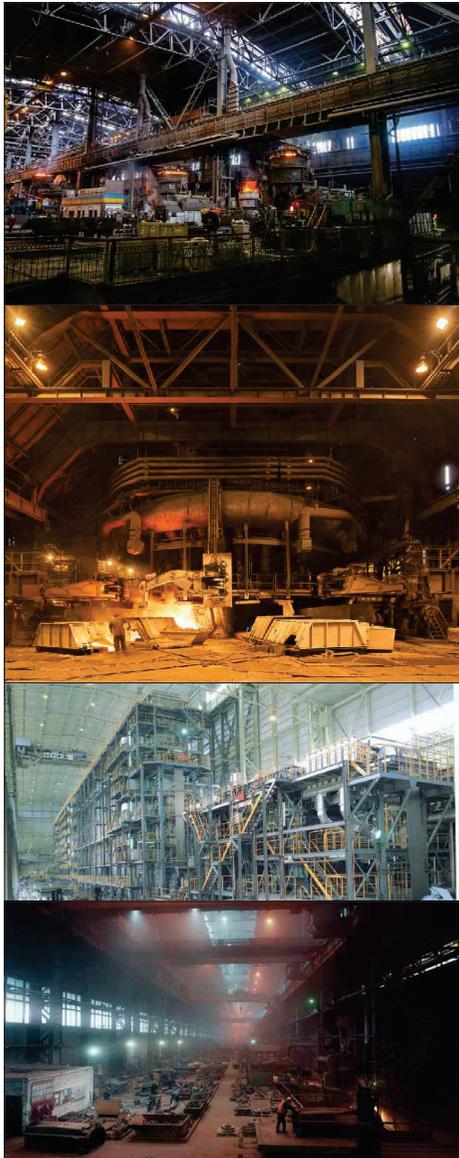
						601Б.П.10783024.МР		
						Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнutoзварних профілів		
Зм.	К-сть	Листів	№	Вид	Підпис	Дата		
Виконав		Григорів	А.К.				Сторінка	Архів
Перевірив		Сенко	О.В.				МР	1
Керівник		Сенко	О.В.				15	
						ВСТУП		
						Мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження.		
						Підприємство: "Львівська політехніка" Інститут будівництва та цивільної інженерії		
Зав. кафедр		Сенко	О.В.					

СТАЛЕВІ КАРКАСИ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ

Типи виробничих будівель

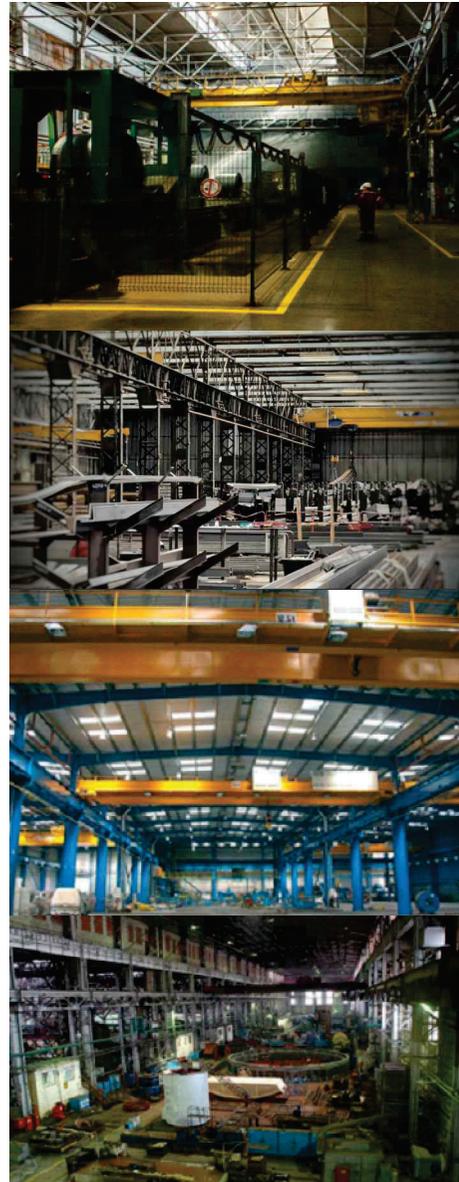
З важким технологічним обладнанням

цехи, з використанням важкого, масивного, потужного технологічного обладнання. Зазвичай, у таких будівлях використовують потужні мостові крани, а в каркасах використовують важкі ступінчасті колони.



Кранові будівлі

виробництва з легкими технологічними процесами з використанням підвісних або опорних кранів – або опорних кран-балок. В каркасах таких будівель, зазвичай, колони постійного перерізу.



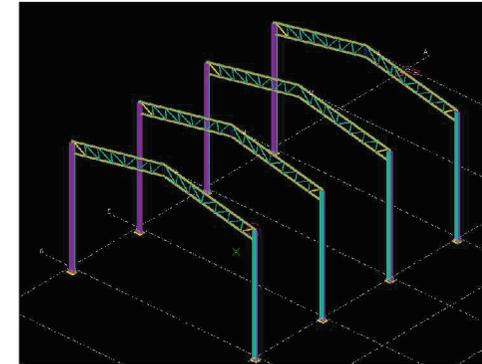
Безкранові та будівлі логістики

безкранові будівлі з гнучким технологічним процесом, а також, будівлі логістичного типу та складські приміщення.

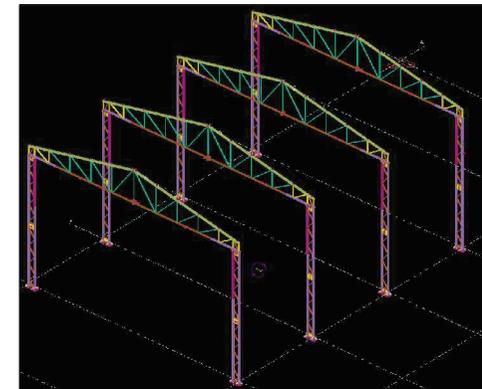


КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ КАРКАСІВ БУДІВЕЛЬ, ЩО ДОСЛІДЖУЮТЬСЯ

варіант 1



варіант 2



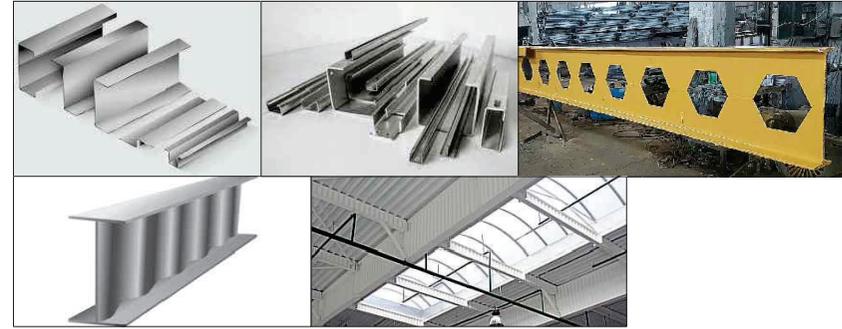
						601Б.10783024.МР			
						Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням гнучозварних профілів			
Знак	К-сть	Лист	№	Вид	Підпис	Дата			
Виконав	Трусов А.К.						Металева конструкція для одноповерхових виробничих будівель	Смайл	Архив
Перевірив	Семко О.В.						МР	2	
Хериник	Семко О.В.								
Н.Контр.	Семко О.В.						Співілля зварювальник "Політехніка" м.Київ		
Зав.каф.	Семко О.В.						Конструктивні рішення каркасів будівель, що досліджуються		

ПРОФІЛІ ДЛЯ ЛЕГКИХ КОНСТРУКЦІЙ КАРКАСУ

Як варіант для полегшення каркасів умовно 3-го типу виробничих будівель можна використовувати - ЛСТК, сіп-балки та перфоровані балки

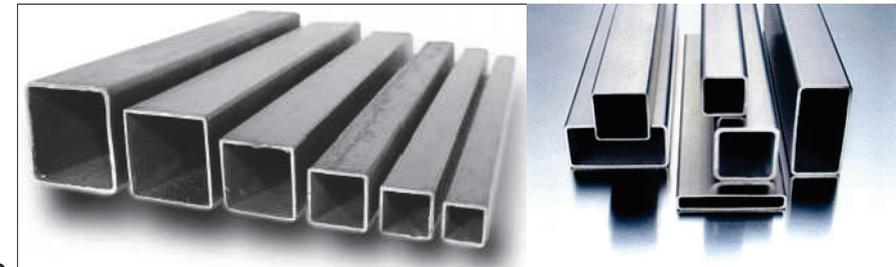
Переваги: низька металоємність

Недоліки: висока вартість, використання для виготовлення спеціального технічного обладнання



Альтернатива: наскрізні конструкції з гнutoзварних профілів

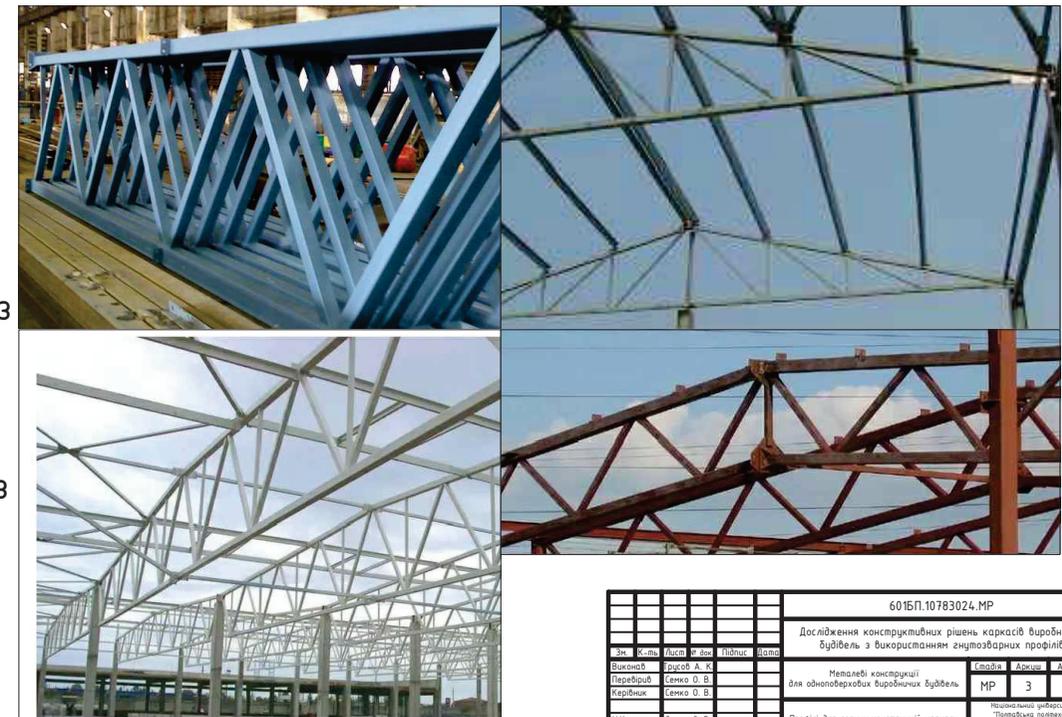
Переваги ГнЗ профілів: простота у виготовленні та експлуатації, для цього не потрібне спеціальне технічне обладнання



Недолік: конструювання вузлів на продавлювання, перевірки міцності на продавлювання труди стінки та правильний розрахунок зварних швів.

Область використання ГнЗ: склади, безкранові виробничі будівлі, логістичні центри, склади для зберігання зерна з коритом

Гнutoзварні профілі виготовляються методом неперервного холодного профілювання з листової сталі з подальшим зварюванням замикального шва. Сюди належать електрозварні труби круглого перерізу, профілі квадратного і прямокутного перерізів.

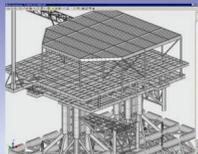


						601Б.П.10783024.МР		
						Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням гнutoзварних профілів		
Знак	К-ть	Лист	№ Вис	Підпис	Дата	Металева конструкція для одноповерхових виробничих будівель		
Виконав		Рисувач	А. К.			Сварка	Арктик	Арктик
Перевірив		Семко	О. В.			МР	З	
Керівник		Семко	О. В.			Неповільно використовувати "Полікарбонат" менше ніж при температурі +5°C		
Н.Контр.		Семко	О. В.			Профілі для легких конструкцій каркасу		
Зав.каф.		Семко	О. В.					



Інтегрована система SCAD Office — інструментарій інженера-проектувальника

Компоненти SCAD Office

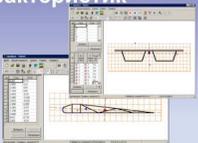


Програми для формування перерізів та розрахунку їх геометричних характеристик:

- Конструктор сечений** – формування перерізів з прокатних профілів та листів
- КОНСУЛ** – формування перерізів та їх розрахунок з теорії суцільних стрижнів
- ТОНУС** – формування перерізів та їх розрахунок з теорії тонкостінних стрижнів
- СЕЗАМ** – пошук перерізів, еквівалентних заданим

Формування та розрахунок геометричних характеристик перерізів

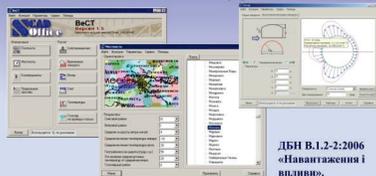
ТОНУС – теорія тонкостінних стрижнів



СЕЗАМ – пошук еквівалентних перерізів

Експорт даних в SCAD

ВЕСТ – визначення навантажень та впливів на конструкції



ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи»

Мапи вітрового, снігового та температурного районування
База даних вагових характеристик матеріалів

КРИСТАЛЛ – експертиза та розрахунок елементів сталевих конструкцій



Робочий інструмент інженера-конструктора. Розрахунок нормативних, експертних дозволів

ДБН, Eurocode

Швидка оцінка прийнятності конструктивних рішень

Компоненти SCAD Office

Проектно-аналітичні програми, що орієнтовані на підтримку ДБН:

КРИСТАЛЛ – експертиза та розрахунок елементів сталевих конструкцій

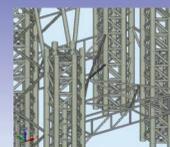


Обчислювальний комплекс SCAD



Обчислювальний комплекс **SCAD** – універсальна обчислювальна система призначена для аналізу на міцність конструкцій різного призначення

Компоненти SCAD Office



Проектувальні програми:

КОМЕТА – розрахунок та проектування вузлів сталевих конструкцій

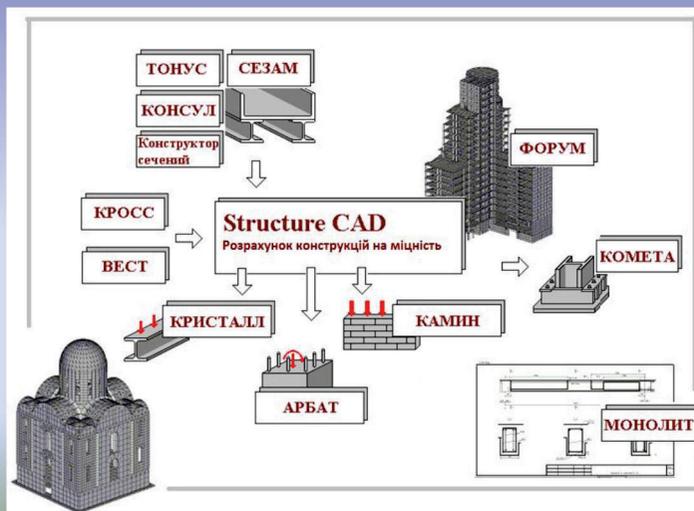
Обчислювальний комплекс SCAD



Це більше **500** функцій для:
• створення та тестування розрахункових схем
• аналізу результатів та проектування елементів конструкцій
• документування ...

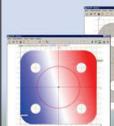
Комплекс **SCAD** має блокову структуру. Усі компоненти комплексу незалежні, що дозволяє отримувати конфігурації максимально наближені до потреб користувачів.

Структура SCAD Office



Формування та розрахунок геометричних характеристик перерізів

Конструктор перерізів – перерізи з прокатних профілів та листів



КОНСУЛ - теорія суцільних стрижнів

Експорт даних в SCAD

Імпорт – експорт даних



У комплексі SCAD реалізований імпорту геометрії з програм:
• AutoCAD (DXF, DWG)
• Tekla Structures
• ArchiCAD
• 3D Studio (3DS)
• StruCAD
• Hyper Steel
• Architectural Desktop та інші.

Компоненти SCAD Office



Допоміжні програми:

ВЕСТ – обчислення навантажень та впливів на конструкції відповідно до вказівок ДБН

Обчислювальний комплекс SCAD

Статична
Динамічна
Сейсмічна



Нелінійний аналіз
Варіації моделей
Енергетичний аналіз
Сейсміка

Небезпечні подання навантажень
Армування
Підбір перерізів з металопрокату

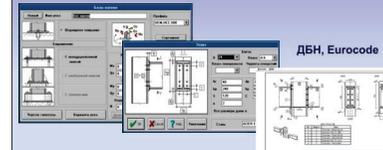
ФОРУМ – формування розрахункових моделей на основі конструктивних елементів

Адаптація моделей під час створення розрахунків



Інтерфейс з ArchiCAD, AutoCAD (DXF, DWG) та ін.

КОМЕТА – розрахунок та проектування вузлів сталевих конструкцій

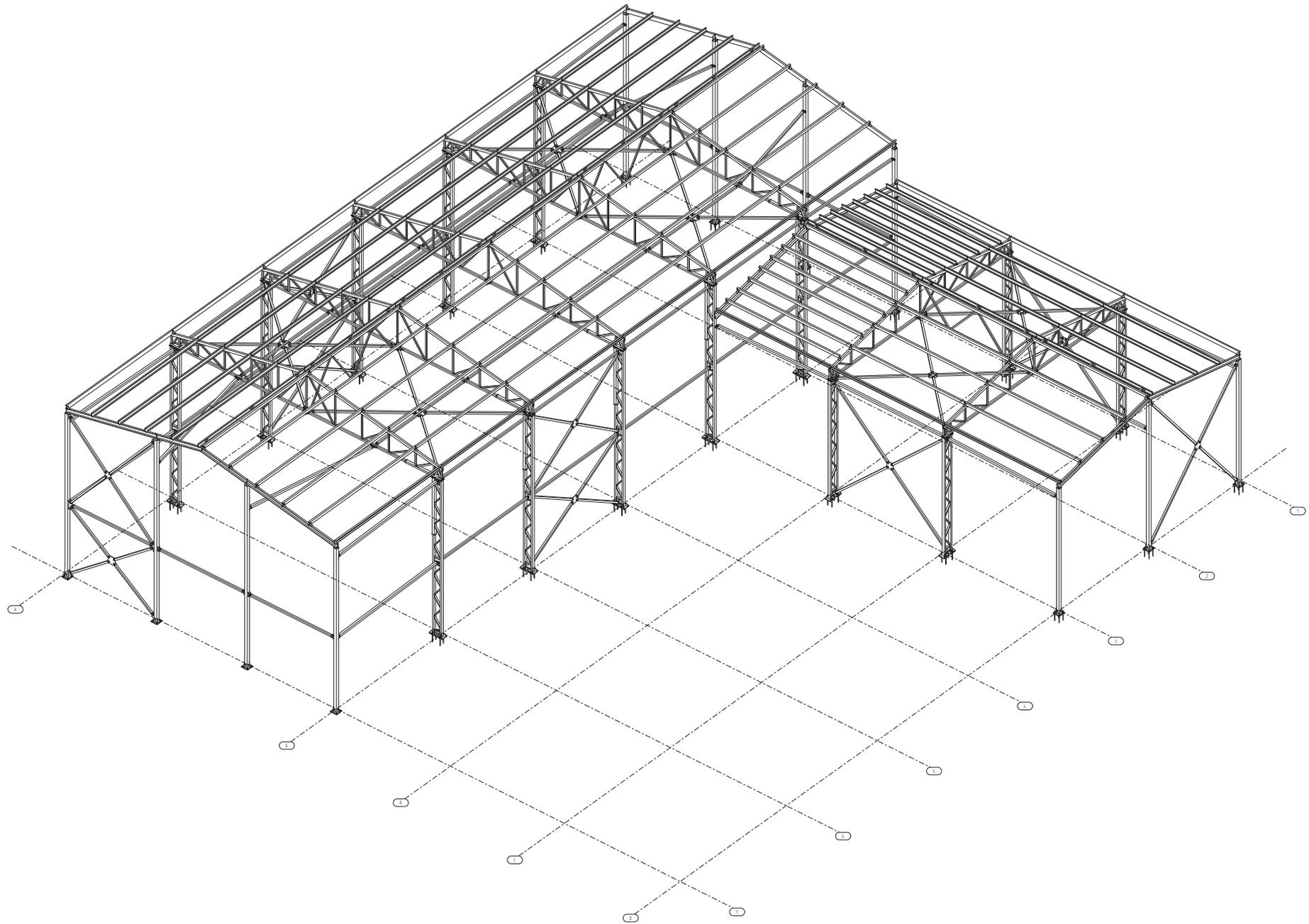


ДБН, Eurocode

Більше 50 прототипів вузлів примикання балок до колони, стиків балок та баз колон

						601Б.10783024.МР		
						Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням ґнотозварних профілів		
Зм.	Кільк.	Висл.	№	Вид.	Підпис.	Дата	Свідка	Архив
Виконав	Григорів А.К.							
Перевірив	Семко О.В.							
Керівник	Семко О.В.							
Н.Контр.	Семко О.В.							
Заб.коф.	Семко О.В.							
						Методика досліджень		МР 4
						Структура програмного комплексу SCAD office		Надійшло на перевірку: "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" Коляда І.Євгенівна

ЗАГАЛЬНИЙ ВИД КАРКАСУ



						601БП.10783024.МР				
						Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнучозварних профілів				
Зм	К-ть	Лист	№Зак	Підпис	Дата	Металеві конструкції виробничої будівлі		Стала	Аркуш	Аркуш
Виконав	Трусов А.К.				06.07.2024			МР	5	
Перевірив	Семко О. В.									
Керівник	Семко О. В.									
Н.контр.оль	Семко О. В.					Загальний вид		Національний університет "Полтавська політехніка імені Йосифа Кобленка" Кафедра ЕІНІІ		
Заб.каф.	Семко О.В.							Формат А1		

Фото несучих конструкцій



Наскрізна колона із сталевих гнutoзварних профілів



Загальний вид

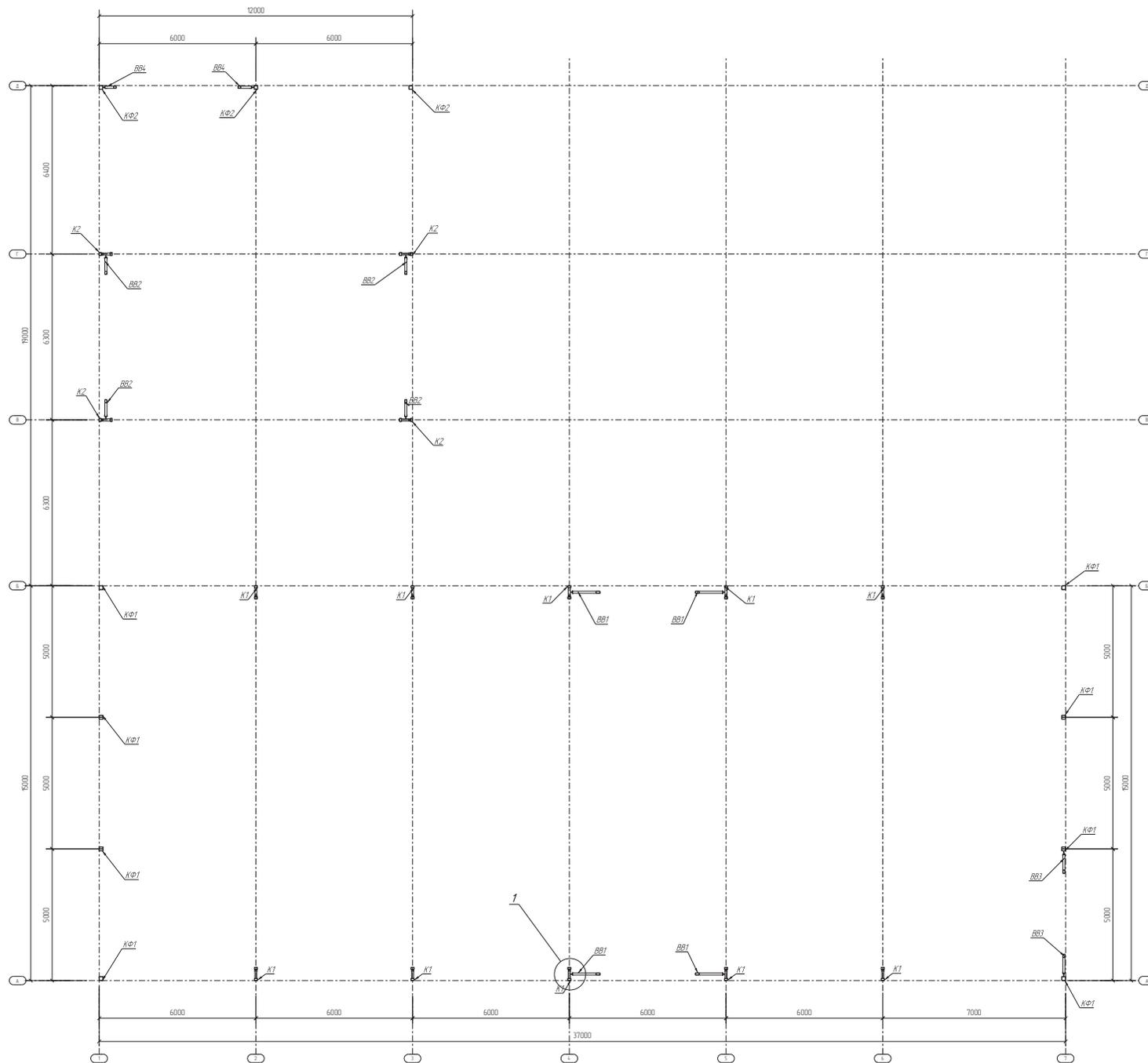


Вузол з'єднання колони і ригеля

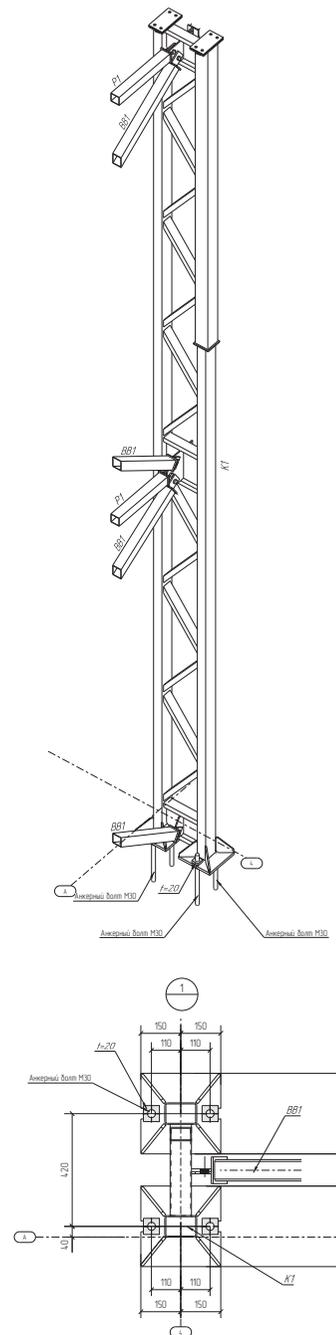


						601Б.П.10783024.МР		
						Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням гнutoзварних профілів		
Зм.	К-ть	Лист	№	Вид	Підпис	Дата	Статус	Архив
Виконав		Трусов А.К.						
Перевірив		Семко О.В.						
Херівник		Семко О.В.						
Н.Контр.		Семко О.В.					МР	6
Зав.каф.		Семко О.В.						
						Виробничі будівлі		
						Фото несучих конструкцій		
						Національний університет "Львівська політехніка" м. Львів, кафедра "Конструкції"		

План на відм. 0.000



Вузел 1



						6016П.10783024.МР		
						Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнучозварних профілів		
Зм	К-ль	Лист	№Зак	Підпис	Дата			
Виконав	Трусов А.К.				16.07.2024			
Перевірив	Сенко О. В.							
Керівник	Сенко О. В.							
						Металеві конструкції		
						виробничі будівлі		
						Сталь		Аркуш
						МР		7
						План на відмітці 0.000		
						Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кошарника" Кафедра ЕНЕС		

СХЕМА ПРОГОНІВ. СХЕМА В'ЯЗЕЙ ПО НИЖНІХ ПОЯСАХ ФЕРМ

СХЕМА ПРОГОНІВ

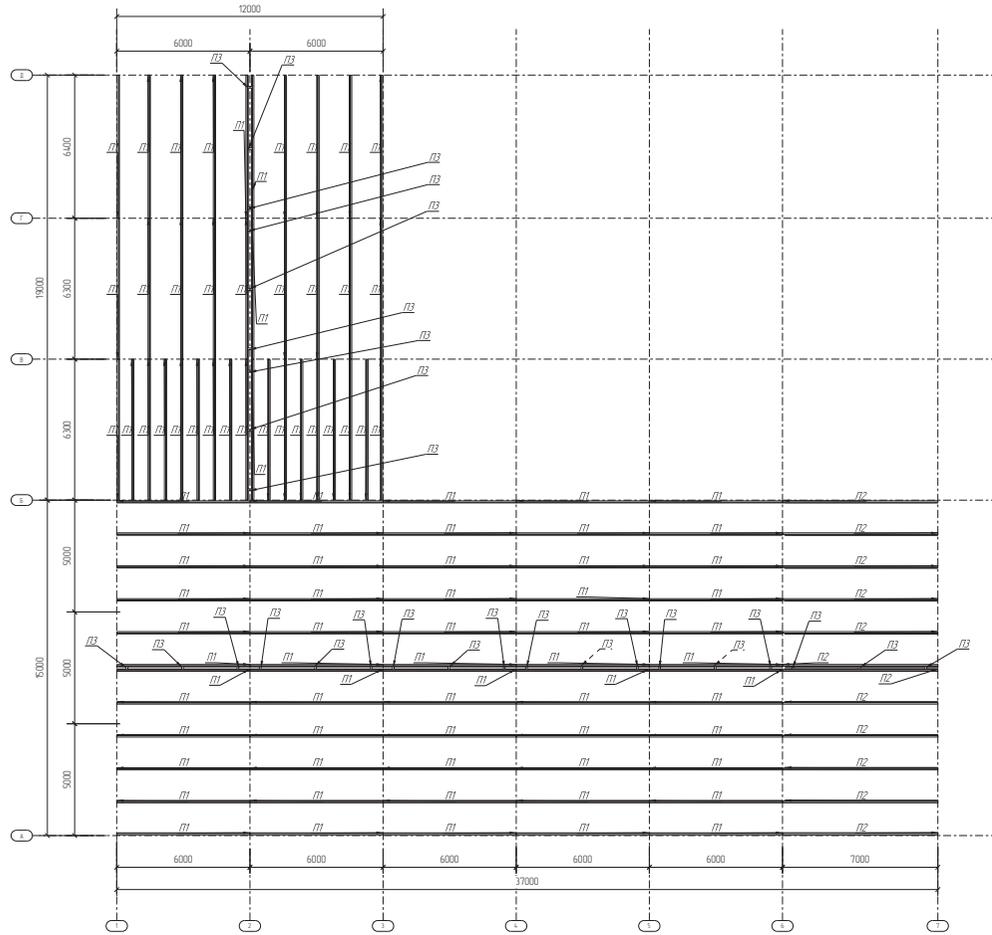
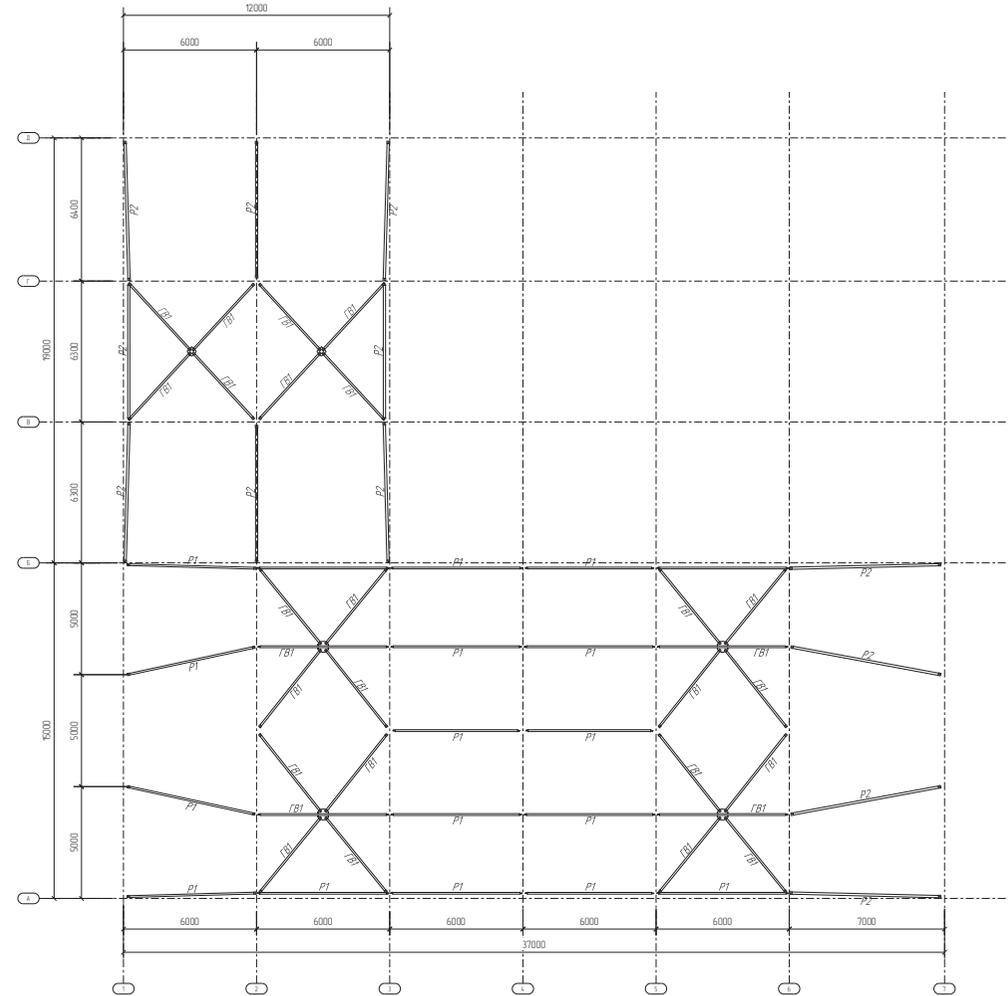
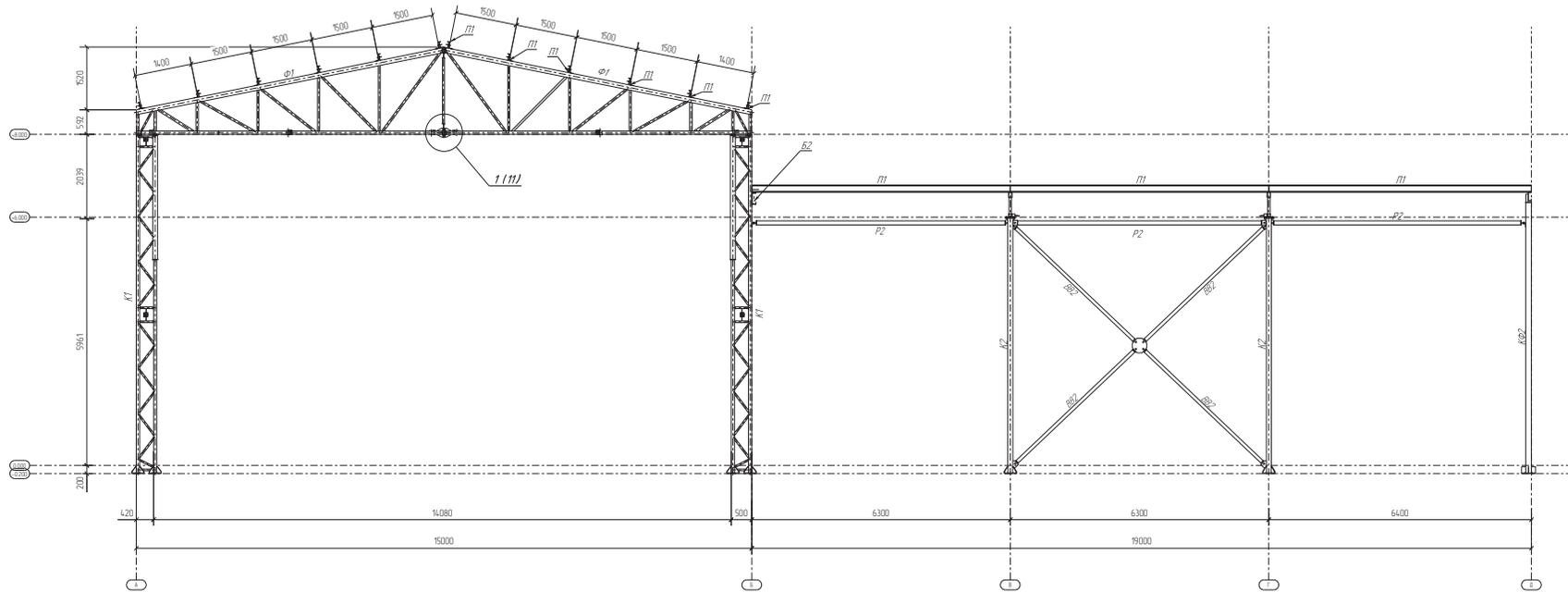


СХЕМА В'ЯЗЕЙ ПО НИЖНІХ ПОЯСАХ ФЕРМ

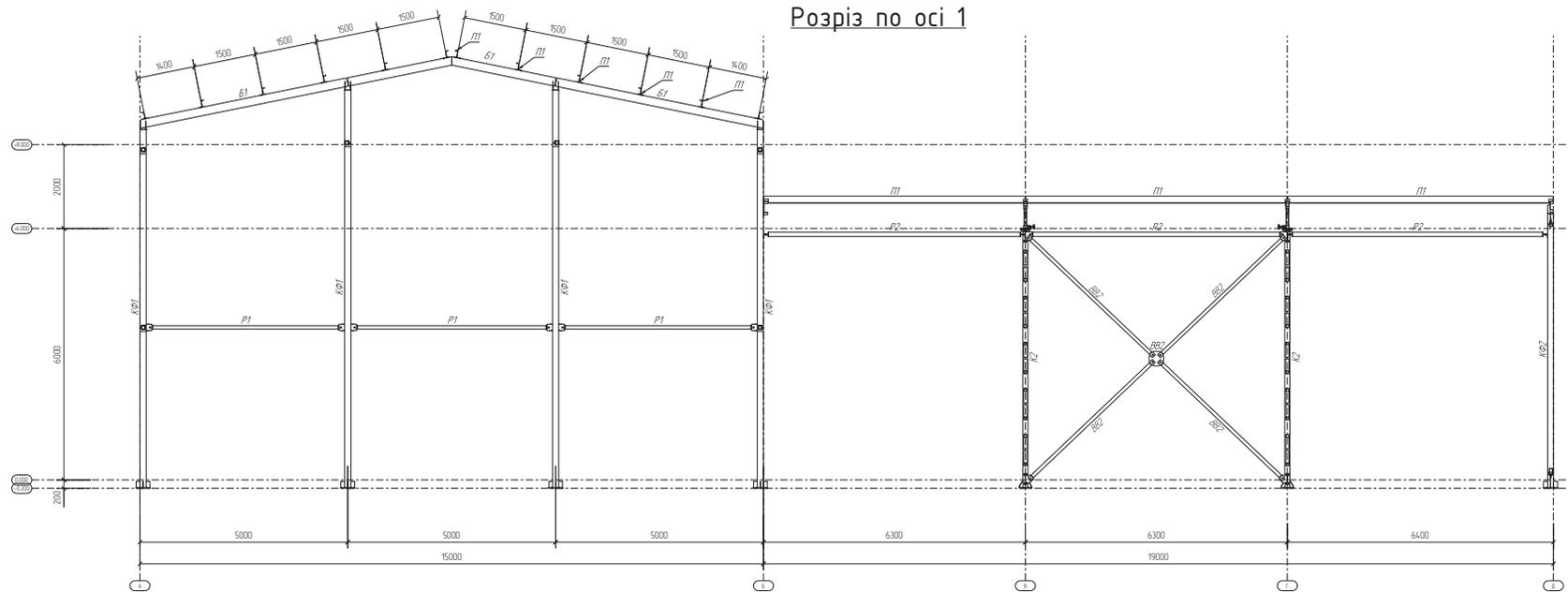


						601БП.10783024.МР		
						Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнучозварних профілів		
Зм	К-ть	Лист	№Зак	Підпис	Дата			
Виконав	Трусов А.К.				06.07.2024			
Перевірив	Семко О. В.							
Керівник	Семко О. В.							
Н.контр. Зоб'яв.	Семко О. В.							
						Металеві конструкції виробничі будівлі		
						Сталеві	Аркуші	Аркуші
						МР	8	
						Схема прогонів. Схема в'язей по нижніх поясах ферм		
						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кошарника» Кафедра ЕНЕСЦ		

Розріз по осі 3



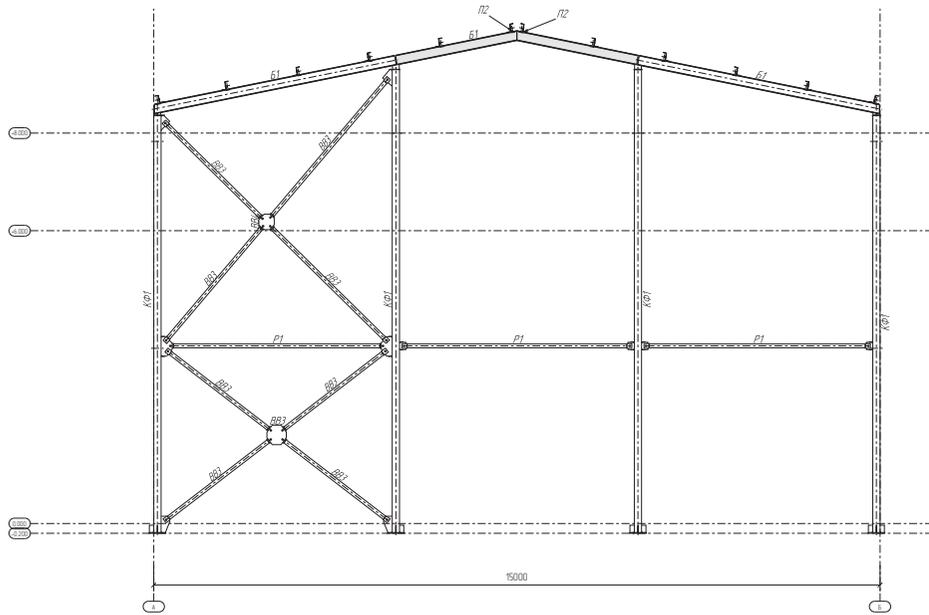
Розріз по осі 1



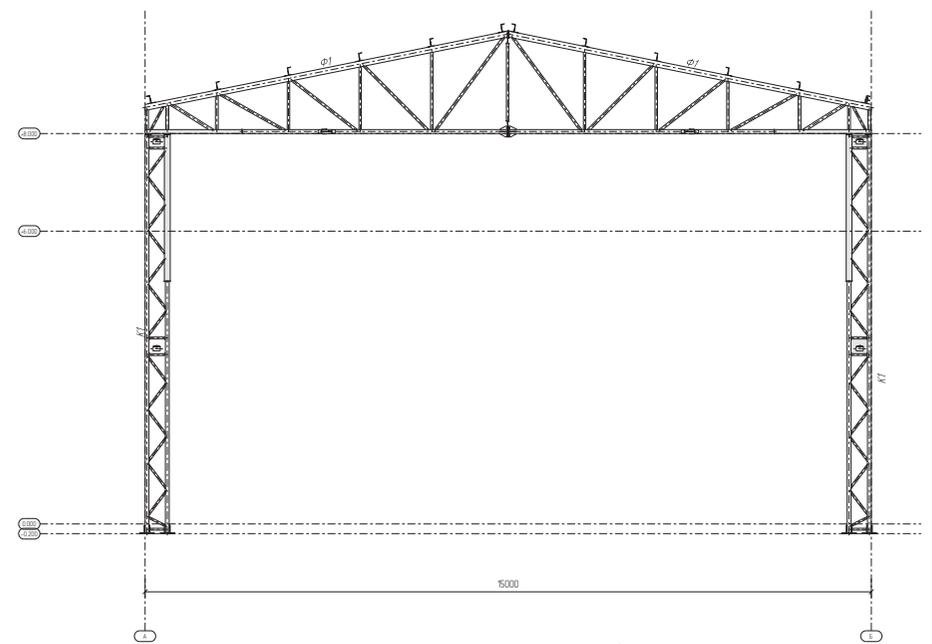
						601БП.10783024.МР				
						Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнучозварних профілів				
Зм	К-ль	Лист	№Зак	Підпис	Дата	Металебі конструкції виробничі будівлі		Стан	Аркш	Аркшів
Виконав	Трусов А.К.				16.01.2024			МР	9	
Перевірив	Сенко О.В.									
Керівник	Сенко О.В.									
Н.контр. Заб.каф.	Сенко О.В.									
						Розріз по осі 1 та 3		Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кошарника» Кафедра ЕН-11		

РОЗРІЗИ ПО ПРОЛЬОТУ А-Б

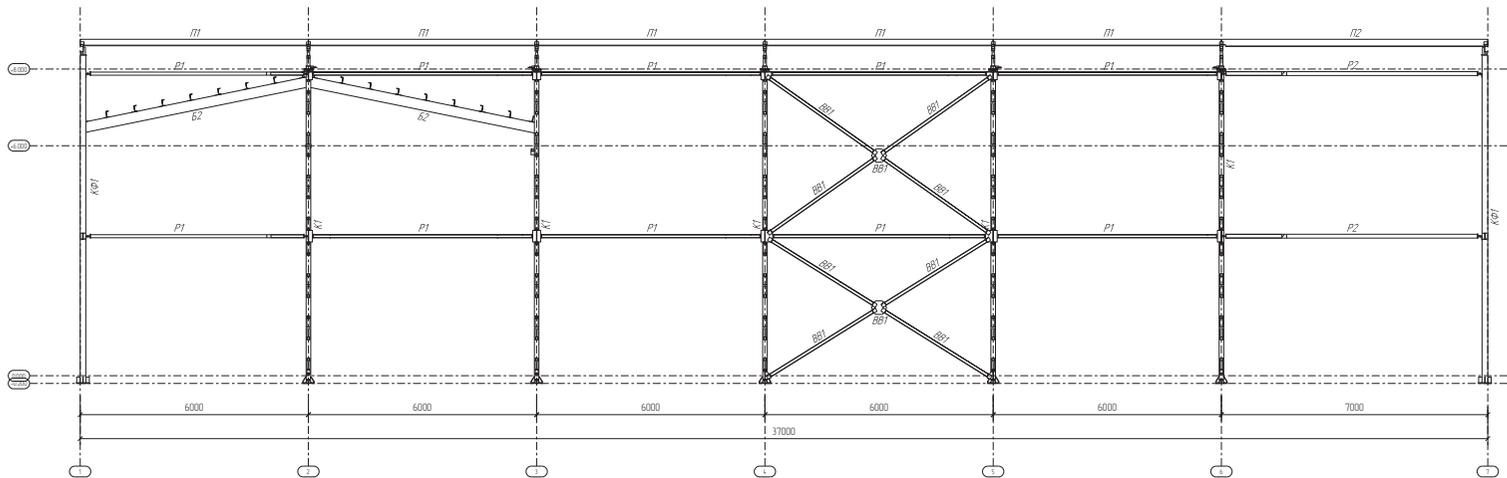
Розріз по осі 7



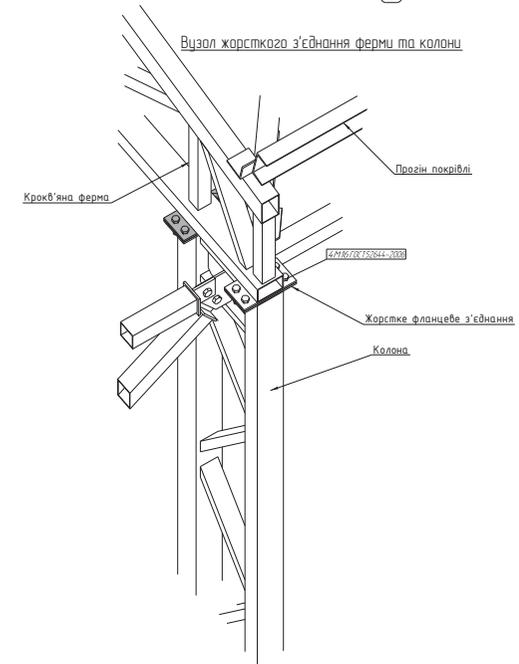
Розріз по осі 6



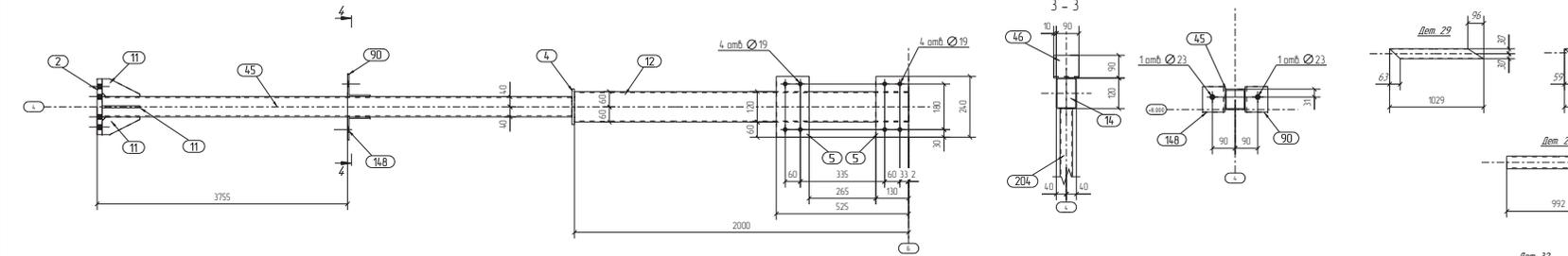
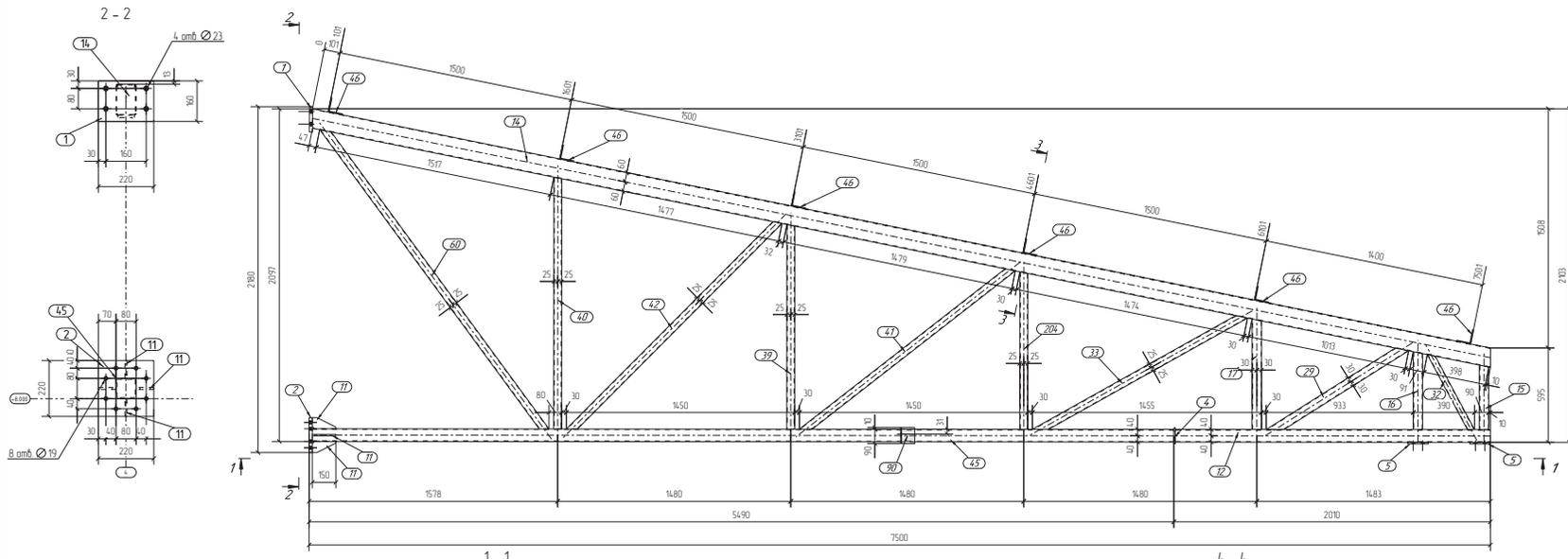
Розріз по осі Б



Визол жорсткого з'єднання ферми та колони



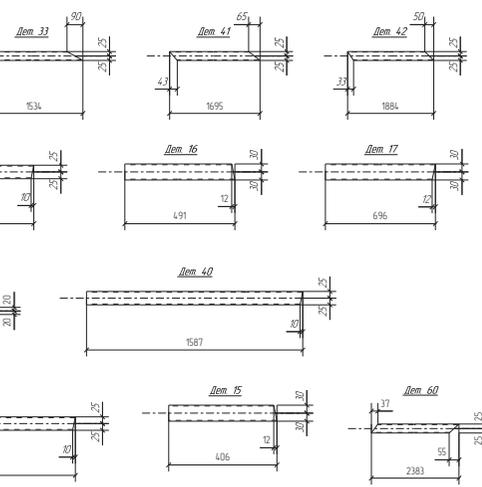
						601БП.10783024.МР		
						Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнучозварних профілів		
Зм	К-ть	Лист	№Зак	Підпис	Дата			
Виконав	Трусов А.К.				01.10.2024			
Перевірив	Сенко О. В.							
Керівник	Сенко О. В.							
						Металеві конструкції виробничі будівлі		Сталеві Аркуші Аркуші
						Розрізи по осім 7, 6, Б та Визол з'єднання К та Ф		МР 10
						Н.Контроль Заб.каф.		Сенко О. В. Сенко О.В.
								Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кошарника" Кафедра ЕНЕСЦ



Специфікація						
Марка	Дет.	Кол.	Профіль	Довжина	Маса, кг	Примітка
ел.-та	№	шт.		мм	шт. Загальна	
Ф1-2	1	1	-20x160	220	5.5	5.5
	2	1	-20x220	220	7.6	7.6
	4	1	-10x140	100	1.1	1.1
	5	2	-10x130	240	2.4	4.8
	11	4	-8x70	150	0.4	1.6
	12	1	Гнз120Х80Х4	2000	23.5	23.5
	14	1	Гнз120Х80Х3	7653	66.1	66.1
	15	1	Гнз60Х60Х3	4.06	2.1	2.1
	16	1	Гнз60Х60Х3	4.91	2.5	2.5
	17	1	Гнз60Х60Х3	6.96	3.6	3.6
	29	1	Гнз60Х60Х3	1029	5.3	5.3
	32	1	Гнз80Х40Х3	559	3.1	3.1
	33	1	Гнз50Х50Х3	1534	6.5	6.5
	39	1	Гнз50Х50Х3	1290	5.5	5.5
	40	1	Гнз50Х50Х3	1587	6.7	6.7
	41	1	Гнз50Х50Х3	1695	7.2	7.2
	42	1	Гнз50Х50Х3	1884	8.0	8.0
	45	1	Гнз80Х80Х4	54.70	50.5	50.5
	46	6	L90Х6	100	0.8	4.8
	60	1	Гнз50Х50Х3	2383	10.1	10.1
90	1	L90Х6	100	0.8	0.8	
148	1	L90Х6	100	0.8	0.8	
204	1	Гнз50Х50Х3	992	4.2	4.2	
Маса нап. металу: 10% = 2.3 кг					234.2	

Виборка металу		
Профіль	Марка сталі	Маса, кг
L90Х6	C245	6.4
-8x70	C245	1.6
-10x130	C245	4.8
-10x140	C245	1.1
-20x160	C245	5.5
-20x220	09Г2С-1	7.6
Гнз50Х50Х3	C245	48.2
Гнз60Х60Х3	C245	13.5
Гнз80Х40Х3	C245	3.1
Гнз80Х80Х4	C245	50.5
Гнз120Х80Х3	C245	66.1
Гнз120Х80Х4	C245	23.5

Відомість відправних елементів			
Марка ел.-та	Кол.-дог. шт.	Маса, кг	
		марки	догов.
Ф1-2	1	234.2	234.2
Всього		2319	234.2



1. Всі отвори та обрізи вказані на кресленнях деталей.
 2. Катети зварних швів приймає в залежності від товщини товщі зі зварюваних деталей, крім вказаних на кресленнях.
 - деталі t=3.5 мм варити швом КГ-4 мм;
 - деталі t=6.8 мм варити швом КГ-6 мм;
 - деталі t=10.12 мм варити швом КГ-8 мм;
 - деталі t=14.18 мм варити швом КГ-10 мм;
 3. Визначені НК проводяться згідно ДСТУ Б В.2.6-199:2016. Конструкції сталеві будівельні. Вимоги до виготовлення.

601БП.10783024.МР				
Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих згнутозварних профілів				
Зм.	К-ль	Лист	№Знак	Підпис
Виконав	Трусів А.К.			16.01.2024
Перевірив	Сенко О. В.			
Керівник	Сенко О. В.			
Н.Контроль		Сенко О. В.		
Заб.каф.		Сенко О.В.		
Металеві конструкції виробничих будівель			Сталь	Аркуші
МР			13	
-Ф1-2			Національний університет «Львівська політехніка» Інститут Конструктивної Кафедра БНШ	

ПОРІВНЯЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК РАМ

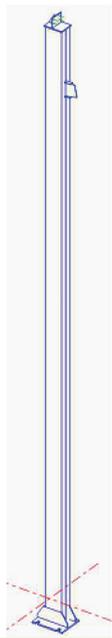
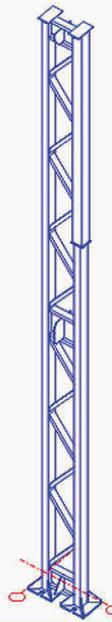
Виконано реальне проектування двох варіантів безкранової виробничої будівлі.

1-ий варіант рами: колона з суцільним перерізом 2 швелера "в коробочку"; ригель – кроквяна ферма з гнutoзварних профілів

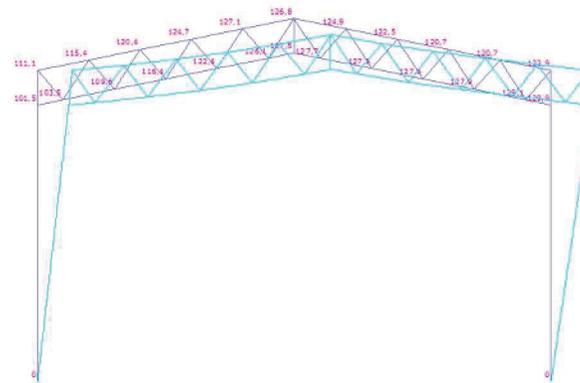
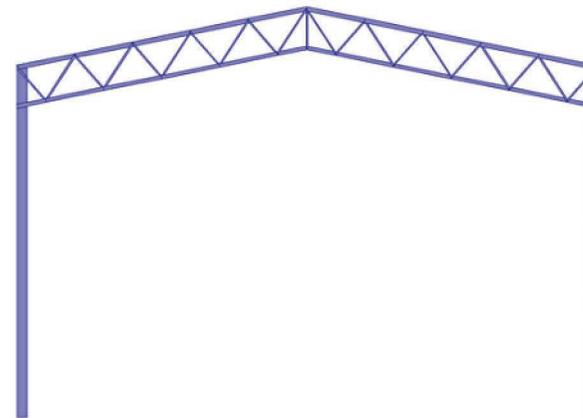
2-ий варіант рами: наскрізна колона з гнутих зварних профілів; ригель – кроквяна ферма.

В обох випадках колони шарнірно спираються на фундамент та забезпечено жорстке з'єднання ферм з колонами

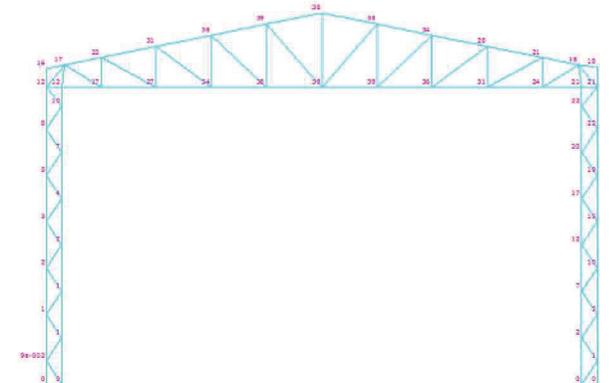
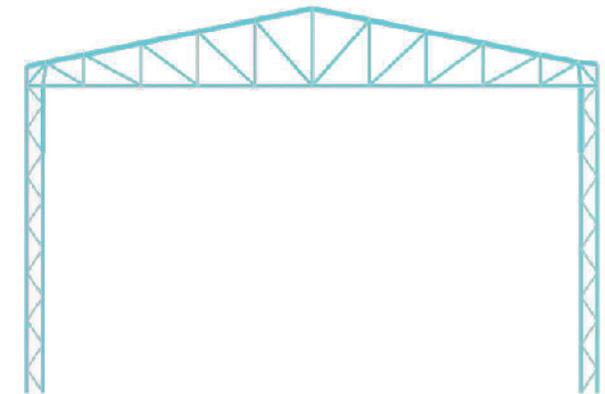
Порівняння мас колон

Таблиця 3.1. Порівняння мас суцільної та наскрізної колони			
Варіант 1 Суцільна колона (два швелера «в коробочку»)		Варіант 2 Наскрізна колона з гнutoзварних профілів	
			
Профіль	Чиста вага, кг	Профіль	Чиста вага, кг
[27	513.4	Гнз80Х40Х3	53.8
—6 мм	0.5	Гнз120Х80Х4	156.7
—8 мм	2.8	Гнз120Х120Х4	42.7
—10 мм	2.4	—6 мм	0.4
—12 мм	16.0	—8 мм	24.0
—16 мм	8.0	—10 мм	14.6
—20 мм	30.0	—20 мм	26.9
Всього:	573.1	Всього:	319.2

Колона суцільного перерізу
(два швелера "в коробочку")



Колона наскрізного перерізу (з гнutoзварних профілів)



					601Б.П.10783024.МР	
					Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням гнutoзварних профілів	
Зм.	К-сть	Листів	№	Вид	Підпис	Дата
Виконав	Григорів А.К.					
Перевірив	Сенко О.В.					
Керівник	Сенко О.В.					
Н.Контр.	Сенко О.В.					
Зав.каф.	Сенко О.В.					
					МР	14
					Порівняльний розрахунок рам	
					Підприємство розробило: "Полтавська політехніка імені Євгена Кошового" кафедра БІСД	

Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням гнutoзварних профілів

Загальні висновки

За результатами проведених досліджень конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням сталевих гнutoзварних профілів, можна зробити наступні висновки:

1. Найбільш раціональною областю використання колон з гнutoзварних профілів є легкі каркаси виробничих будівель безкранового типу з гнучкими колонами.
2. З досвіду проектування подібних об'єктів можливе використання таких колон для каркасів з опорними кранами легкого режиму роботи і вантажопідйомністю до 3тс.
3. Для колон з гнучкістю більше 100 каркасів легких будівель при однакових вихідних умовах варіант наскрізного перерізу з гнutoзварних профілів є ефективнішим ніж колони з суцільними перерізами.
4. Використання наскрізних колон дозволяє зменшити масу конструкцій у 1.5...1,8 у порівнянні з суцільними перерізами. При цьому наскрізна колона забезпечує більшу поперечну жорсткість рами.
5. Виготовлення з гнutoзварних профілів не потребує спеціального технологічного обладнання у порівнянні з виготовленням конструкцій легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК), балками з гофрованими стінками (sin-балки), балами з перфорованою стінкою тощо, що зменшує вартість будівництва об'єктів.

						601Б.П.10783024.МР			
						Дослідження конструктивних рішень каркасів виробничих будівель з використанням гнutoзварних профілів			
Зн	К-сть	Лист	№	Вид	Підпис	Дата	Євдєй	Архив	Архив
Виконав	Трасой	А.К							
Перевірив	Семко	О.В							
Керівник	Семко	О.В							
						Загальні висновки		МР	15
Н.Контр.	Семко	О.В							
Зав.вир.	Семко	О.В							
						Загальні висновки		Підписано у відповідності з "Положенням про оформлення актів виконання робіт"	