

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
«__» _____ 2024 р.,
протокол № ____

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Будівельні конструкції» на тему «Проектування металевих конструкції одноповерхової безкранової промислової будівлі»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітньо-професійна програма «Промислове та цивільне будівництво»
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
(назва факультету)
кафедра гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.
(назва кафедри)

Рекомендовано на засіданні
кафедри гірничих технологій та
будівництва ім. проф. Бакка М.Т.
«__» _____ 2024 р.,
протокол № ____

Розробник: к.т.н., доц. кафедри гірничих технологій та будівництва
ім. проф. Бакка М.Т. БАЙДА Денис
асистент кафедри розробки родовищ корисних копалин
ім. проф. Бакка М.Т. ПІСКУН Ігор

Житомир
2024

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 2

УДК 624.014.2

Методичні рекомендації до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Будівельні конструкції» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійна програма «Промислове та цивільне будівництво».

Укладачі: к.т.н., доц. БАЙДА Денис, асистент ПІСКУН Ігор – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2024. – 86 с.

Рецензенти:

к.т.н., доц. кафедри доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету ПОПОВ Володимир;

к.т.н., доцент, декан факультету гірничої справи, природокористування та будівництва Державного університету «Житомирська політехніка» КОТЕНКО Володимир.

Відповідальний за випуск: завідувач кафедрою гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т. – к.т.н. БАШИНСЬКИЙ Сергій.

Методичні рекомендації розроблені для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітнього ступеня «бакалавр» містять детальні вказівки до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Будівельні конструкції».

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 3

ЗМІСТ

1. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ	6
1.1 Зміст та об'єми графічної частини курсового проекту.....	6
1.2 Основні правила оформлення	7
1.2.1 Оформлення пояснювальної записки	7
1.2.2 Оформлення графічної частини проекту	7
1.3 Суть завдання на курсовий проект	8
2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИРОБНИЧОГО ЦЕХУ БУДІВЛІ	10
2.1 Архітектурно-конструктивні рішення одноповерхових безкранових будівель	10
2.1.1 Несучі конструкції каркасу	10
2.1.2 Сучасні конструктивні рішення огорожуючих конструкцій.....	13
2.1.3 Підбір товщини теплоізоляції та товщини сандвіч-панелей для промислових будівель	20
2.2 Рекомендації для проектування несучих конструкцій каркасу будівлі.....	23
2.2.1 Вибір конструкцій поперечних рам.....	23
2.2.2 Навантаження і впливи.....	25
2.2.3 Статичний розрахунок поперечної рами	26
2.2.4 Забезпечення стійкості ферм.....	27
2.2.5 Вибір типів перерізів елементів ферми	28
2.2.6 Розрахункові довжини і граничні гнучкості елементів плоских ферм та в'язів	30
2.2.7 Основи розрахунку стиснутих і розтягнутих елементів ферми	32
2.2.8 Підбір перерізів елементів ферми	34
2.2.9 Практичні та конструктивні рекомендації з проектування ферми	36
3 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИРОБНИЧОГО ЦЕХУ	39
3.1 Вихідні дані.....	39
3.2. Компонування каркасу будівлі	41
3.3 Збір навантажень на конструкції поперечної рами каркасу будівлі	42
3.4 Підготовка даних для статичного розрахунку поперечної рами засобами ПК «Ліра-САПР».....	46
3.5 Результати статичного розрахунку поперечної рами засобами ПК «Ліра- САПР».....	51
3.6 Підбір перерізів елементів ферми.....	55
3.7 Конструювання ферми	66

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 4

3.7.1 Остаточні рішення по перерізам елементів ферми	66
3.7.2 Конструювання вузлів ферми	66
3.7.3 Розрахунок зварних швів.....	67
3.7.4 Приклади розрахунку та конструювання вузлів ферм.....	71
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	80
ДОДАТОК А	82
ДОДАТОК Б	85

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 5

ВСТУП

Метою виконання курсового проекту (КП) є закріплення знань отриманих при вивченні навчальної дисципліни "Будівельні конструкції", отримання навичок при розв'язуванні основних конструкторських задач на достатньому інженерному рівні, які виникають при проектуванні металевих конструкцій.

Студент виконує курсовий проект у визначений термін, на основі індивідуального завдання та консультацій керівника курсового проекту.

До складу курсового проекту входять:

- розрахунково-пояснювальна записка (ПЗ), в якій наводяться усі розрахунки та обґрунтування конструкторських рішень;
- графічна частина (ГЧ), в якій зображуються монтажні схеми будівельних конструкцій та робочі креслення будівельних конструкцій згідно з завданням на курсовий проект.

В даних вказівках по тексту дані численні посилання на нормативні джерела, доступ до яких забезпечує викладач. При цьому свідомо в методичні вказівки не були долучені чисельні дані нормативних вимог для спонукання студентів до самостійного користування нормативними документами, як це відбувається на практиці. Такий підхід, на думку авторів, є кроком до більшого наближення курсового проектування до реальної проектної практики, а також дозволяє уникнути застосування застарілих даних у методичних вказівках через можливі зміни норм.

Закінчений курсовий проект здається для перевірки, після чого захищається. У відповідності з якістю виконання та результатами захисту за курсовий проект виставляється оцінка.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 6

1. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

1.1 Зміст та об'єми графічної частини курсового проекту

Курсовий проект з дисципліни «Будівельні конструкції» на тему: «Проектування металевих конструкції одноповерхової безкранової промислової будівлі» – типовий навчально-конструкторський проект, що містить основні елементи робочої конструкторської документації несучих будівельних конструкцій виробничої будівлі (об'єкт курсового проекту).

Конструкторська документація – комплект, до якого входять: графічна частина (робочі креслення) – 2 аркуші А2 або 3–4 аркуші А3 та текстова частина (пояснювальна записка) з 30...35 аркушів А4 основного тексту (без додатків).

Курсовий проект виконується студентом самостійно по окремим варіантам вихідних даних на проектування (додаток А), які оформляються у вигляді індивідуального завдання (Додаток Б). За бажанням студента після погодження з керівником курсового проекту та керівником бакалаврської роботи індивідуальне завдання може бути замінене на таке, що відповідає майбутньому об'єкту, вибраному для бакалаврської роботи. У цьому випадку студент з керівником курсового проекту складають індивідуальне завдання на проектування з врахуванням змісту бакалаврської роботи, яке керівник бакалаврської роботи погоджує.

Пояснювальна записка повинна відповідати чинним нормам з оформлення (дивись п. 1.2), її конкретний зміст повинен віддзеркалювати основні етапи проектування та мати такі обов'язкові складові частини:

- титульний аркуш;
- повністю заповнений та завірений керівником КП бланк завдання (додаток Б);
- анотацію (яка стисло віддзеркалює основний зміст КП, обсяг – до ½А4);
- зміст;
- вступ, в якому студент має висвітлити мету та актуальність курсового проекту;
- основна частина (на прикладі розділу 3 методичних вказівок та наданого прикладу виконання курсового проекту);
- висновки (повинні віддзеркалювати конкретні результати розрахунків, наприклад, конкретні перерізи підібраних елементів покриття для відповідного елемента... є узагальненням пояснювальної записки);
- література;
- додатки (містять додаткову інформацію, яка віддзеркалює процес моделювання елементів покриття (перекриття) будівлі методами будівельної механіки або чисельними методами засобами стандартизованих в Україні

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 7

програмних комплексів, а також може містити графічний матеріал, що не увійшов до основних аркушів графічної частини проекту).

Курсовий проект, який виконаний за індивідуальним кафедральним завданням, має охоплювати робоче проектування будівельних конструкцій заданої виробничої будівлі.

1.2 Основні правила оформлення

1.2.1 Оформлення пояснювальної записки

Всі сторінки курсового проекту, окрім анотації, завдання та додатків, повинні мати позначені таким шифром:

КГТБ.КП24.192.XX.УУУ ПЗ, де КГТБ – скорочене найменування кафедри гірничих технологій та будівництва;

КП – скорочене позначення виду звітної звітної роботи студента (КП – курсовий проект);

192 – індекс спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»;

XX – номер варіанту згідно з завданням;

УУУ – номер залікової книжки;

ПЗ – позначення розділу роботи (ПЗ – пояснювальна записка; КМ – креслення металевих конструкцій на стадії КМ (принципові рішення); КМД – креслення металевих конструкцій деталювальні (детальні креслення по відправочним маркам).

При оформленні текстової частини (пояснювальної записки) курсового проекту необхідно дотримуватись вимог Системи проектної документації для будівництва (СПДБ). Пояснювальну записку виконують на аркушах з основними написами для текстових документів у відповідності до вимог ДСТУ 9243.4 «СПДБ. Основні вимоги до проектної документації» [1]. Допускається до появи оновлених стандартів текст пояснювальної записки виконувати за правилами оформлення згідно з вимогами ДСТУ 3008 «Звіти у сфері науки і техніки. Структур та правила оформлення» [2]. В пояснювальній записці слід обов'язково здійснювати посилання на відповідні складові графічної частини проекту, нормативні документи та використану навчальну та довідкову літературу. Обов'язковими є підписи студента і керівника, причому останній має здійснити перевірку правильності і нормоконтроль.

Оформлення внутрішньотекстових посилань та списку використаних джерел в розділі «література» слід виконувати у відповідності до вимог ДСТУ 8302 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» [3].

1.2.2 Оформлення графічної частини проекту

Шифр аркушам графічної частини (скорочено – ГЧ) надається за правилами, які наведені у п. 1.2.1. В кінці шифру має бути позначено до якого

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 8

розділу проектної документації відноситься аркуш (КМ або КМД для даних методичних вказівок). Аркуші ГЧ курсового проекту повинні за змістом повністю відповідати пояснювальній записці. Оскільки ГЧ фактично являє собою робочу документацію, на кожному кресленні обов'язковим є підписи студента та керівника курсового проекту, що перевірів роботу і здійснив нормоконтроль.

Оформлення графічної частини має відповідати вимогам СПДБ. Зокрема, оформлення креслень має відповідати загальним правилам для проектної документації у відповідності до ДСТУ 9243.4 [1], правилам виконання робочих креслень металевих конструкції згідно з ДСТУ Б А.2.4-43 (ГОСТ 21.502, MOD) «Правила виконання проектної та робочої документації металевих конструкцій» [4] на стадії КМ і ДСТУ-Н Б А.2.4-44 «Настанова з розроблення проектної та робочої документації металевих конструкцій. Креслення конструкцій металевих деталювальні (КМД)» [5].

В процесі виконання керівник КП для спрощення процесу навчання та забезпечення правильного розуміння нормативних вимог щодо оформлення КП надає студентам зразок оформлення КП.

1.3 Суть завдання на курсовий проект

Завдання на кафедральний курсовий проект містить необхідні параметри для проектування конструкцій промислової будівлі (рис. 1.1), яка складається з двох частин (будівель): 1) виробничого цеху; 2) адміністративно-побутового корпусу (АБК). Дві частини зблоковані між собою і відділені деформаційним швом.

Виробничий цех (Частина 1 на рис. 1.1) являє собою одноповерхову промислову частину будівлі з металевим каркасом безкранового обладнання. Огороджуючі конструкції будівлі виконуються із застосуванням сталевих профільованих листів, шарів пароізоляції, утеплення та покрівлі. У якості таких конструкцій можуть застосовуватися трьохшарові металеві конструкції (сендвіч-панелі). Студент в залежності від параметрів завдання має самостійно обрати необхідні огорожуючі конструкції та виконати компоновання каркасу будівлі.

Адміністративно-побутовий блок (скорочено АБК – частина 2 на рис. 1.1) являє собою двохповерхову будівлю, в якій у якості вертикальних несучих конструкцій застосовуються цегляні стіни та внутрішні залізобетонні колони. На вертикальні несучі конструкції обпираються монолітні або збірні конструкції перекриттів. Таким чином будівля має змішану конструктивну схему (поєднання стінової та каркасної конструктивних схем). Дах будівлі АБК виконується з кроквяних дерев'яних конструкцій.

Ці методичні вказівки (Частина 1) охоплюють проектування несучих конструкцій *виробничого цеху* промислової будівлі в осях «1-9» на рисунку 1.1, які являють собою металеві конструкції каркасу одноповерхової безкранової

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 9

будівлі. Далі в цих методичних вказівках на прикладі проектування металевих конструкцій каркасу виробничого цеху будівлі наведені короткі теоретичні відомості, необхідні основні та допоміжні проектні розрахунки конструкцій та їх конструювання з розробкою необхідних креслень. Ці вказівки з розглянутим прикладом дозволяють студенту самостійно виконати курсовий проект на тему «Проектування металевих конструкції одноповерхової безкранової промислової будівлі», в рамках якого виконується проектування конструкцій частини 1 промислової будівлі на рисунку 1.1.

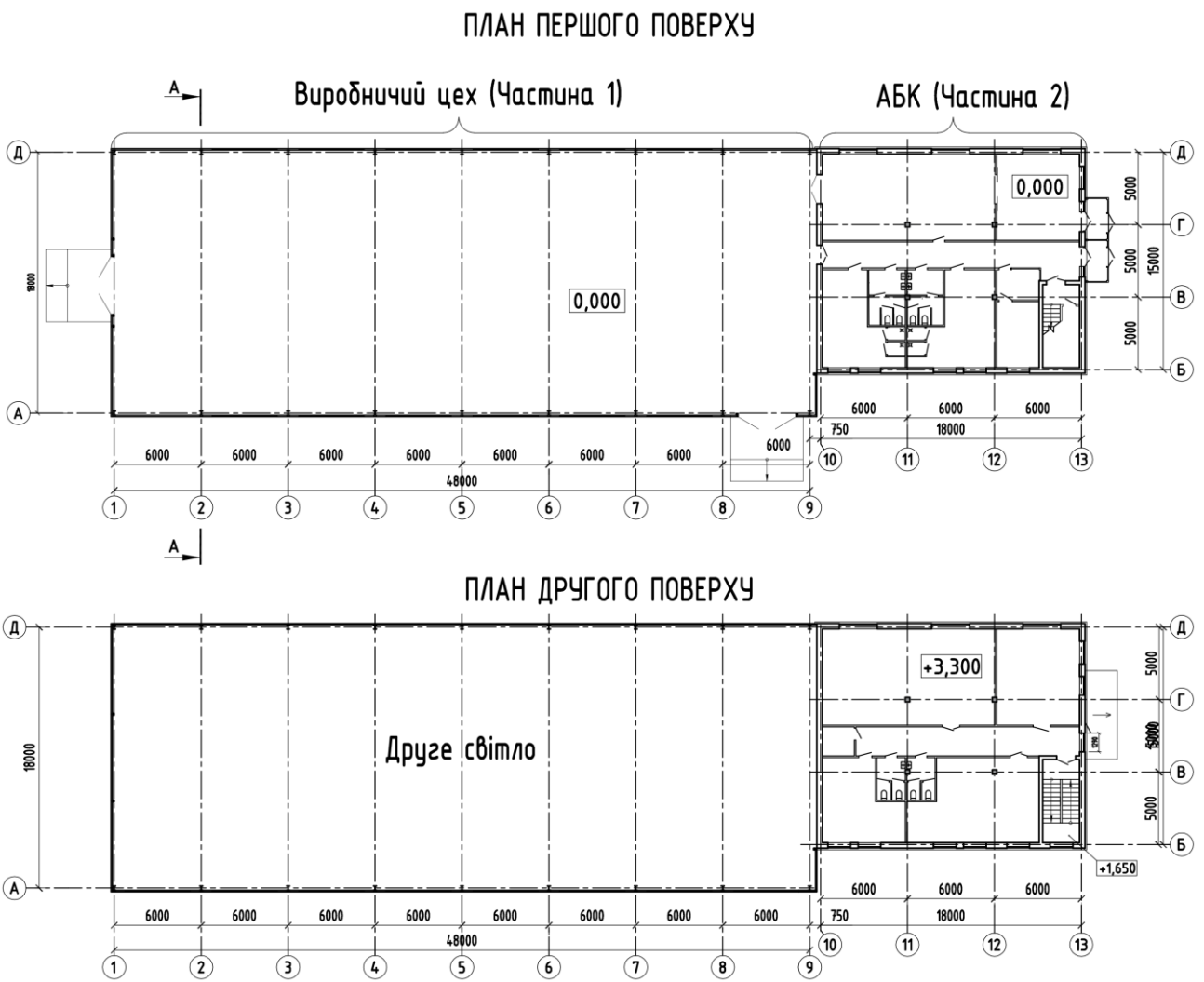


Рисунок 1.1 – Плани промислової будівлі

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 10

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИРОБНИЧОГО ЦЕХУ БУДІВЛІ

2.1 Архітектурно-конструктивні рішення одноповерхових безкранових будівель

Безкранові одноповерхові будівлі з металевим каркасом набули широко застосовуються в будівництві. Такі будівлі широко застосовуються як для цивільного так і промислового будівництва. В цивільному будівництві це перш за все будівлі складських (логістичних) комплексів, торгових центрів, магазинів, автозаправочних станцій, офісних будівель тощо. В промисловому будівництві це будівлі різноманітних підприємств, в яких немає потреби застосовувати мостові та підвісні крани. Оскільки наявність кранового обладнання призводить до суттєвого ускладнення проектування та режиму експлуатації будівлі.

Безкранові одноповерхові будівлі з металевим каркасом мають такі безперечні переваги, які головним чином визначають їх поширення в будівництві:

- більш легкі у порівнянні з іншими типами будівель, що забезпечує простоту і легкість зведення та, одночасно, дозволяє застосовувати менш матеріалоємні конструкції фундаментів;
- мають більш індустріальні сучасні рішення оскільки більшість огорожуючих та несучих конструкцій виготовляються на промислових підприємствах. Це в свою чергу обумовлює порівняно меншу їх тривалість будівництва;
- є легко розбірними, що дозволяє виконувати їх повторне використання на новому місці.

Проте слід зауважити, що у порівнянні з іншими видами конструкцій забезпечення довговічності та вогнестійкості металевих конструкцій потребує значно більших витрат під час будівництва та експлуатації через необхідність застосування додаткових заходів із антикорозійного та протипожежного захисту.

Розглянемо принципові найпоширеніші архітектурно-конструктивні рішення одноповерхової безкранової будівлі з металевим каркасом. Під час проектування виділяють такі її конструкції:

- несучі конструкції каркасу, які складаються з поперечних рам (колон та ригелів), несучих конструкцій покриття (прогонів) та в'язів (рис. 2.1, 2.2);
- огорожуючі конструкції покрівлі та стін.

2.1.1 Несучі конструкції каркасу

Поперечні рами каркасу будівлі складаються з колон та ригелів, які на них опираються. Поперечні рами забезпечують геометричну незмінюваність та жорсткість каркасу будівлі у поперечному напрямку. Основними геометричними і

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 11

одночасно технологічними параметрами поперечних рам є їх висота до нижньої поверхні ригелів покриття H та проліт L . Ці параметри приймаються згідно із завданням на проектування будівлі і встановлюються в залежності від вимог технології виробничих процесів в будівлі. Поперечні рами розташовують в поздовжньому напрямку з кроком B . Також важливим параметром для проектування є ухил покриття i , від значення якого залежать конструктивні рішення несучих та огорожуючих конструкцій покриття (див. рис. 2.1).

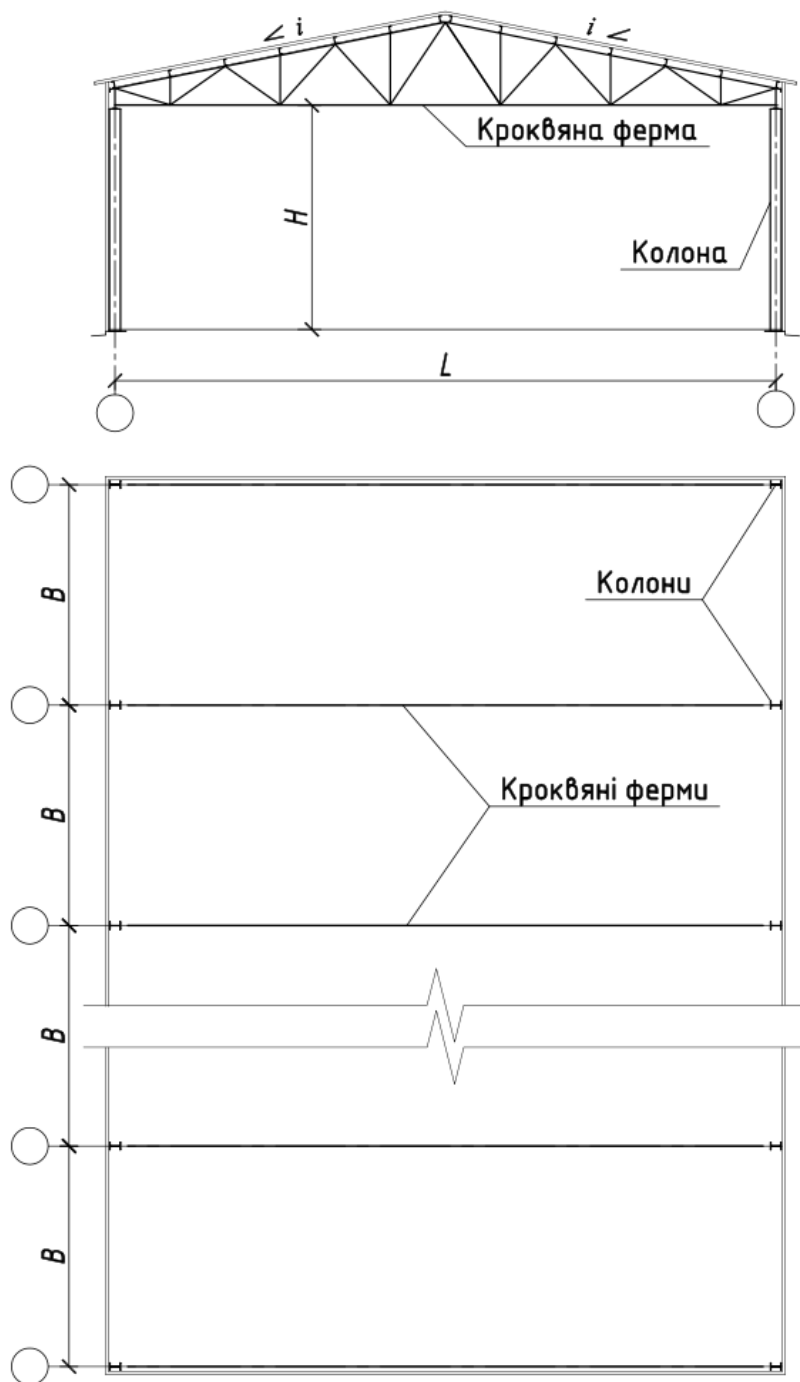


Рисунок 2.1 – Основні параметри та конструкції безкранової одноповерхової будівлі

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 12

Крок колон по можливості приймають однаковим вздовж будівлі і приймають за значенням в залежності від умов уніфікації розмірів та мінімальної кількості типорозмірів стінових конструкцій. Зокрема, в типових рішеннях застосовують в залежності від можливих конструкцій покриття значення кроку колон 6 і 12 м. Проте в сучасних рішеннях цей крок в безкранових будівлях може бути оптимальним і при значеннях менше 6 м.

Поперечні рами в поздовжньому напрямку об'єднують в'язями та несучими конструкціями покриття (див. рис. 2.2). В сучасних рішеннях у якості несучих конструкцій покриття, як правило, застосовують металеві прогони, по яким влаштовують різні конструкції настилів покриття. До періоду Незалежності України широко застосовувалось рішення безпрогонової конструкції покриття, в якому у якості несучих конструкцій покриття приймали залізобетонні ребристі плити. На даний час це рішення застосовується виключно в залізобетонних каркасах.

Металеві прогони в безкранових будівлях можуть виконувати функцію в'язів як у випадку показаному на рисунку 2.2. У цьому випадку до них кріплять елементи горизонтальних в'язів та у розрахунках враховують додаткові стискаючі зусилля від горизонтальних навантажень на каркас будівлі.

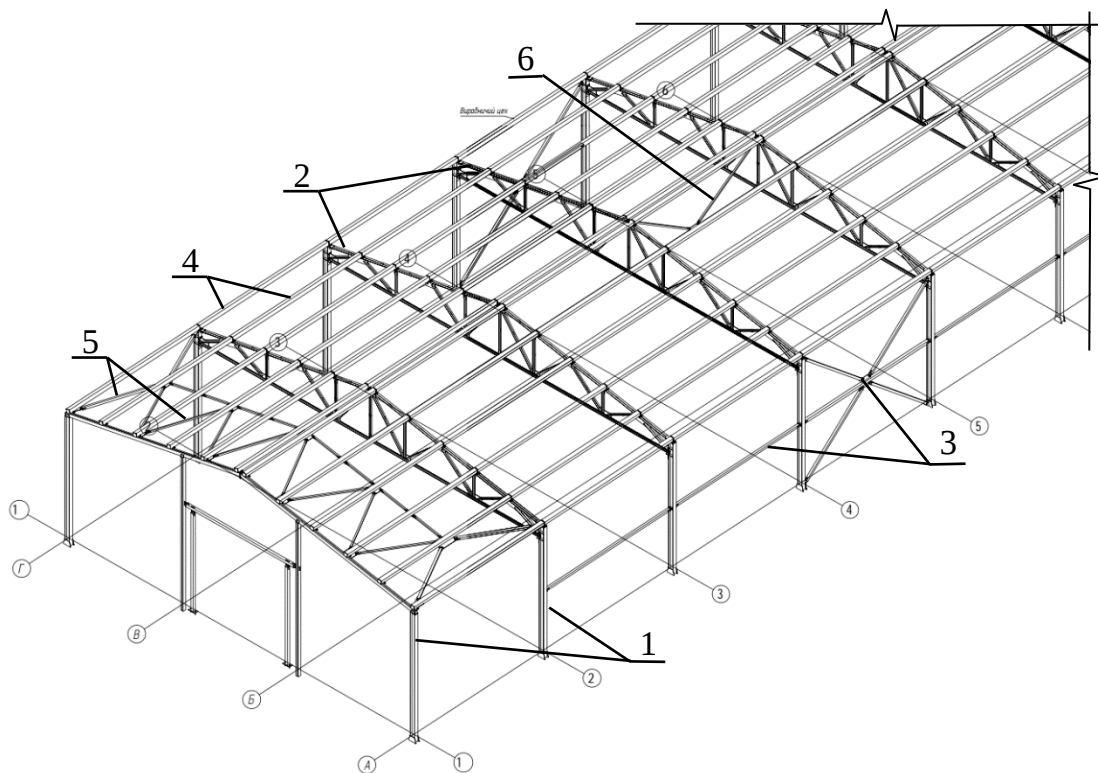


Рисунок 2.2 – Приклад конструктивної схеми каркасу одноповерхової безкранової будівлі:

- 1 – колона; 2 – ригелі покриття у вигляді кроквяних ферм; 3 – в'язі по колонам;
- 4 – прогони; 5 – горизонтальні в'язі по конструкціям покриття;
- 6 – вертикальні в'язі по конструкціям покриття

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 13

В'язі забезпечують просторову роботу каркасу будівлі. Тобто всі конструкції каркасу працюють сумісно, як єдина система, під час дії на них вертикальних та горизонтальних навантажень з різних можливих напрямків. При цьому в'язі виконують такі основні функції:

- забезпечують геометричну незмінювану форму каркасу як конструктивної стрижневої системи;
- забезпечують просторову роботу каркасу під час дії можливих сполучень навантажень та локальних впливах. В тому числі забезпечують сприйняття горизонтальних поздовжніх навантажень на каркас і передачу їх на фундаменти;
- розкріплюють і таким чином забезпечують стійкість стиснутих елементів каркасу завдяки зменшенню їх розрахункових довжин.

Компонування системи в'язів в будівлі залежить від таких факторів: розмірів будівлі, кроку колон та конструктивних рішень покриття. В безкранових одноповерхових будівлях в системі в'язів розрізняють в'язі по колонах і в'язі по покриттю (див. рис. 2.2).

2.1.2 Сучасні конструктивні рішення огорожуючих конструкцій

Сучасні огорожуючі конструкції стін та покриття каркасних будівель повинні відповідати основним експлуатаційним вимогам:

- міцності та жорсткості;
- теплозахисту, герметичності та звукоізоляції;
- довговічності та вогнестійкості;
- естетичності та екологічності;
- індустріальності та економічності.

Розглянемо сучасні рішення огорожуючих конструкцій одноповерхових будівель з металевим каркасом у відповідності до пропозицій компанії «ПРУШИНЬСКІ» [6].

Стінові огорожуючі конструкції. Принципова конструкція стінового огороження може бути 2-х типів – для використання в неопалюваних та опалюваних будівлях. Якщо до огорожуючих конструкцій не ставляться вимоги за теплотехнічними властивостями такі будівлі називають неопалюваними або «холодними». В неопалюваних будівлях стінове огороження проектується у вигляді 1 шару обшивки з профільованих металевих листів або азбестоцементних листів (рис. 2.3). В наш час переважно застосовують профільовані металеві листи з тонколистової сталі товщиною від 0,6 до 1,0 мм, який ще має більш поширену комерційну назву «профнастил». Профнастил кріплять до прогонів із прокатних швелерів або спеціальних гнутих профілів з тонколистової сталі, застосування яких в наш час набуває масового поширення. Такі гнуті профілі мають С- або Z-подібну форму і виготовляються з тонколистової сталі товщиною від 1,0 до 4,0 мм. Профнастил та гнуті профілі відносять до виробів, які застосовують для виготовлення так званих легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК), які в наш час набувають з кожним роком більшого застосування у будівництві.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 14

Стінові огорожуючі конструкції для опалюваних будівель проектується у вигляді самонесучих (самонавісних) панелей. Ці панелі мають трьохшарову конструкцію, що складається із 2-х шарів зовнішніх обшивок та серцевини. Серцевина – внутрішній теплоізоляційний шар панелі. Така конструкція ще має більш поширену комерційну назву сендвіч-панель. Ця назва з'явилася в США коли вперше почали масово застосовувати сендвіч-панелі в 1950-х роках з обшивками з фанери. Таким чином історія масового застосування трьохшарових стінових панелей складає більше 70 років.

Термін сендвіч-панель доцільно застосовувати для виробів заводського виготовлення, які поставляються на будівельний майданчик у вигляді панелей. Для стінових трьохшарових огорожуючих конструкцій, які виконують на будівельному майданчику, шляхом пошарового збирання, може застосовуватися термін «набірний сендвіч» або сендвіч-панель поетапної зборки. Компанія «ПРУШИНЬСКІ» пропонує три можливі рішення трьохшарових стінових огорожень (сендвіч-панелей) опалюваних будівель з металевим каркасом:

- 1) Сендвіч-панель поетапної зборки на будівельному майданчику із застосуванням внутрішньої стінової касети (ВСК; рис. 2.4);
- 2) Сендвіч-панель поетапної зборки на будівельному майданчику із застосуванням прогонів (рис. 2.5);
- 3) Сендвіч-панель заводського виготовлення (рис. 2.6).

Кожний тип сендвіч-панелей має свої недоліки і переваги. Найбільшу індустріальність і вартість мають сендвіч-панелі заводського виготовлення (див. рис. 2.6). Найменшу вартість і індустріальність мають сендвіч-панелі поетапної зборки (див. рис. 2.5). При чому цьому рішенню часто віддають перевагу, оскільки такі огороження можна виконувати на будівельному майданчику без застосування кранового обладнання. Сендвіч панелі із застосуванням внутрішніх стінових касет (ВСК) є більш прогресивним рішенням сендвіч-панелей поетапної зборки і дозволяє підвищити якість та рівень індустріальності цього рішення.

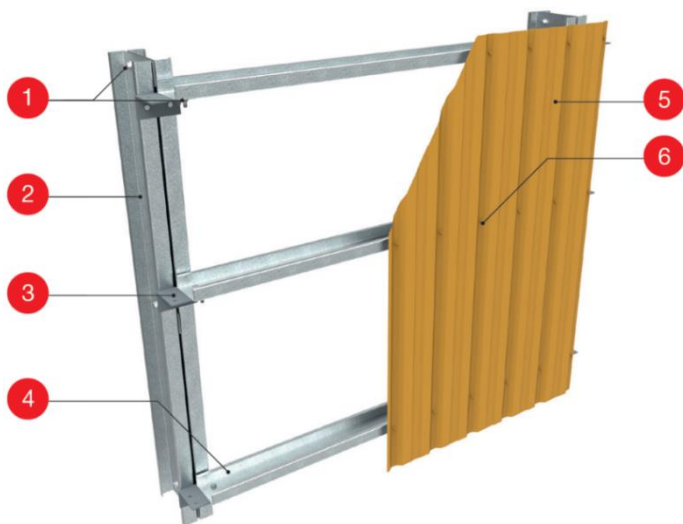


Рисунок 2.3 – «Холодне»
стінове огороження із
застосуванням сталевих гнутих
профілів [6]:

- 1 — болт (М12; М16);
- 2 — несучий елемент (С-профіль);
- 3 — опорний столик;
- 4 — стіновий прогон (С-профіль);
- 5 — профнастил стіновий;
- 6 — саморіз (5,5 x 25)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 15

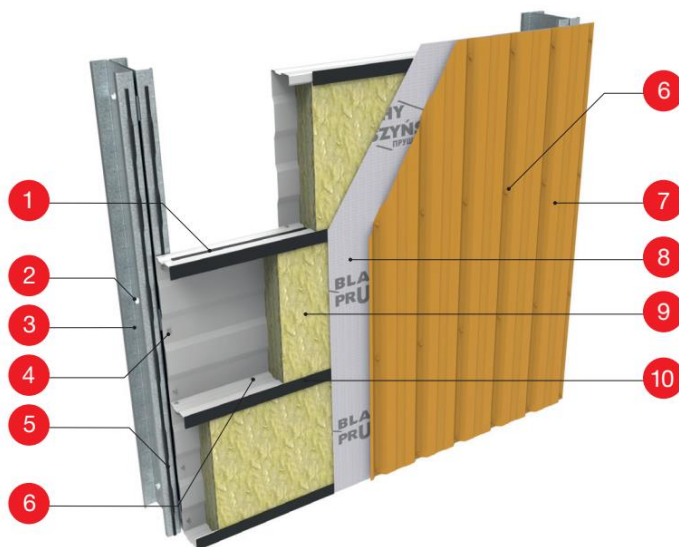


Рисунок 2.4 – Фасадна сендвіч-панель поетапної зборки із застосуванням ВСК [6]:

- 1 — ущільнювач (20 x 5);
- 2 — болт (M12; M16);
- 3 — несучий елемент (С-профіль);
- 4 — саморіз (5,5 x 25; 5,5 x 32);
- 5 — ущільнювач вертикальний;
- 6 — саморіз (5,5 x 25);
- 7 — профнастил стіновий;
- 8 — вітробар'єр;
- 9 — утеплювач;
- 10 — термопрокладка (5 x 50).

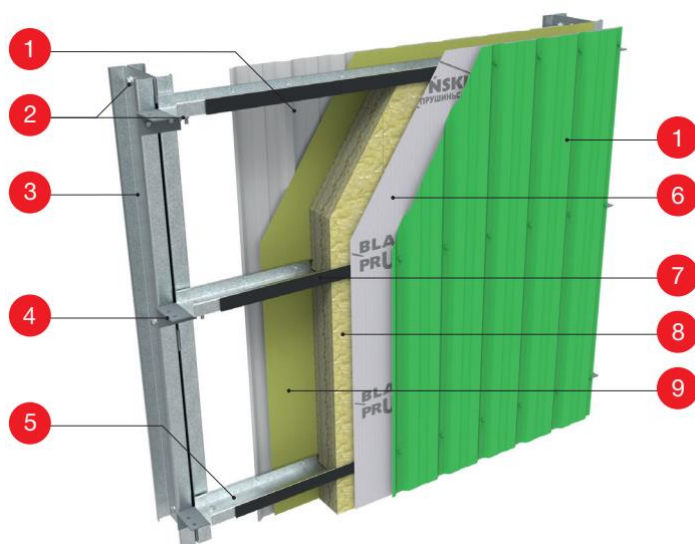


Рисунок 2.5 – Сендвіч-панель поетапної зборки із застосуванням холоднокатаних С-прогонів [6]:

- 1 — профнастил стіновий;
- 2 — болт (M12; M16);
- 3 — несучий елемент (С-профіль);
- 4 — опорний столик;
- 5 — стіновий прогон (С-профіль);
- 6 — вітробар'єр;
- 7 — термопрокладка (5 x 50);
- 8 — утеплювач;
- 9 — пароізоляційна плівка



Рисунок 2.6 – Сендвіч-панель заводського виготовлення [6]:

- 1 — болт (M12; M16);
- 2 — несучий елемент (С-профіль);
- 3 — термопрокладка (5 x 50);
- 4 — саморіз для кріплення сендвіч-панелі;
- 5 — сендвіч-панель стінова

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 16

Вибір та конструювання стінових огорожуючих конструкцій, як правило, виконують на підставі розгляду таких вимог:

1) міцності та жорсткості на підставі розрахунків на дію вітрового навантаження і власної ваги конструкції. Ці вимоги впливають на вибір несучих профілів і проектування опорних конструкцій (стінового фахверку);

2) теплоізоляції приміщень, від якої залежить вибір товщини утеплювача і відповідно стіни;

3) пожежної безпеки від яких залежить вибір утеплювача для конструкцій. Можуть застосовуватися такі види утеплювача: пінополістирольні плити, пінополіуретан, жорсткий поліізоціанурат PIR, мінеральна вата. Утеплювачі перелічені по мірі покращення їх протипожежних властивостей;

4) агресивності зовнішнього та внутрішнього середовищ. Від цієї вимоги залежить вибір антикорозійного покриття обшивок панелей, а також матеріал внутрішньої обшивки. Наприклад, згідно з рішенням Компанія «ПРУШИНЬСЬКІ» для підприємств АПК (корівників, свинарників тощо, де сильно агресивні умови експлуатації) пропонуються спеціальні сендвіч-панелі AGROPIR з внутрішньої обшивкою із плаского ламінованого ПВХ-листа [7].

Для підбору сендвіч-панелей заводського виготовлення на практиці користуються технічними каталогами виробників, в яких наведені характеристики панелей в залежності від конструктивних особливостей, таблиці допустимих прольотів панелей в залежності від значень граничних та експлуатаційних навантажень, опори теплопередачі панелей в залежності від їх товщини, матеріалу утеплювача тощо [8, 9].

Огорожуючі конструкції покриття.

Покриття – верхня огорожувальна конструкція будівлі для захисту приміщень від зовнішніх кліматичних факторів і впливів [10].

Покриття будівель з металевим каркасом включає несучі конструкції (ригелі покриття, прогони та настил) та огорожуючі шари (пароізоляція, теплоізоляція, покрівля). В залежності від конструкції розрізняють два принципові рішення покриття каркасних будівель – холодне та суміщене (тепле) покриття.

Холодне покриття – плоске або скатне покриття, що включає в себе несучу частину та гідроізоляційні шари над приміщеннями, що не опалюється.

Суміщене або тепле покриття – плоске або скатне покриття, що включає в себе несучу частину та огорожуючі шари пароізоляції, теплоізоляції та покрівлі.

Вид покрівельного шару теплового покриття залежить від ухилу покриття згідно з вимогами табл. 3 ДБН В.2.6-220: 2017 [10]. Під час проектування вид покрівлі визначається в Завданні на проектування в залежності від умов експлуатації, необхідної довговічності та інших вимог Замовника. Далі в залежності від виду покрівлі виконують вибір необхідного ухилу і проектування основних несучих конструкцій покриття. В таблиці 2.1 представлені дані для основних сучасних рішень покрівлі будівель з металевим каркасом.

Таблиця 2.1 – Характеристики покрівель суміщених дахів

Вид покрівлі (матеріал)	Довговічність, років	Допустимі навантаження на покрівлю		Маса 1 м ² , кг ¹	Допустимий ухил i, %
		Нагрівання до T, °C	Хімічна дія середовища		
1 Профільовані металеві листи	30-100	≤ 85	Не допускається	6-8	20-100 (10-20 ²)
2 Сандвіч-панелі з утеплювачем - мінеральної вати; - інші		≤ 80		20-26 12-14	
3 Мембрани полімерні	30-40	≤ 90	Допускається	1,5-3	Без обмежень

Примітки:

- Маса покрівлі подана для профнастилу із тонколистової сталі 0,7мм висотою профілю 40...60 мм, сандвіч-панелей товщиною 100-150 мм;
- Для покрівель з сталевих профільованих листів (сандвіч-панелей) допускається ухил 10-20 % за умови виконання герметизації поздовжніх та поперечних стиків.

В неопалюваних каркасних будівлях подібно рішенню стін покрівля як верхній шар покриття проектується у вигляді 1 шару обшивки з профільованих металевих листів (рис. 2.7). Металеві листи профнастилу виконують одночасно несучу функцію, тобто сприймають кліматичні навантаження і передають їх на основні несучі конструкції покриття (прогони та ригелі покриття) та огорожувальну (захищають внутрішні приміщення від кліматичних впливів).

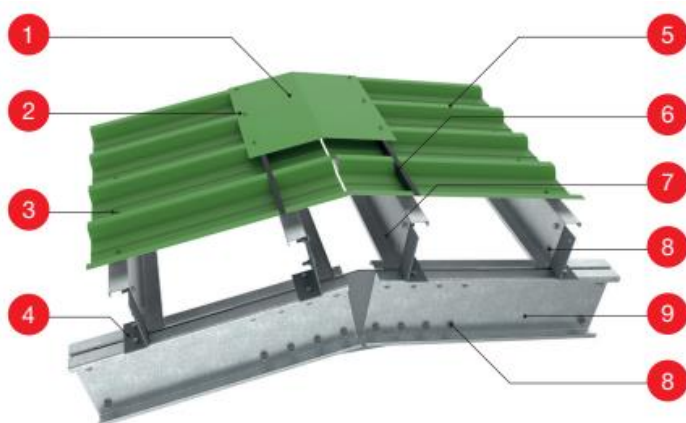


Рисунок 2.7 – Конструкція «холодної» покрівлі [6]:

- 1 — планка конькова;
- 2 — саморіз (4,8 x 19);
- 3 — саморіз (5,5 x 25; 5,5 x 32);
- 4 — опорний столик;
- 5 — профнастил покрівельний;
- 6 — ущільнювач під коньок;
- 7 — несучий Z-прогон;
- 8 — болт (M12; M16);
- 9 — несучий елемент (С-профіль)

На даний час застосовуються такі сучасні рішення огорожуючих конструкцій суміщеного (теплого) покриття каркасних будівель:

- пошарової зборки на будівельному майданчику по металевим прогонам (прогонова схема; рис. 2.8);
- пошарової зборки на будівельному майданчику з укладанням нижніх несучих листів сталевих профільованих настилу на ригелі покриття

(безпрогонова схема; рис. 2.9);

- використання покрівельних сендвіч-панелей заводського виготовлення, в яких верхній шар обшивки виконаний з покрівельного профнастилу, який має висоту профілю не менше 40 мм (рис. 2.10).

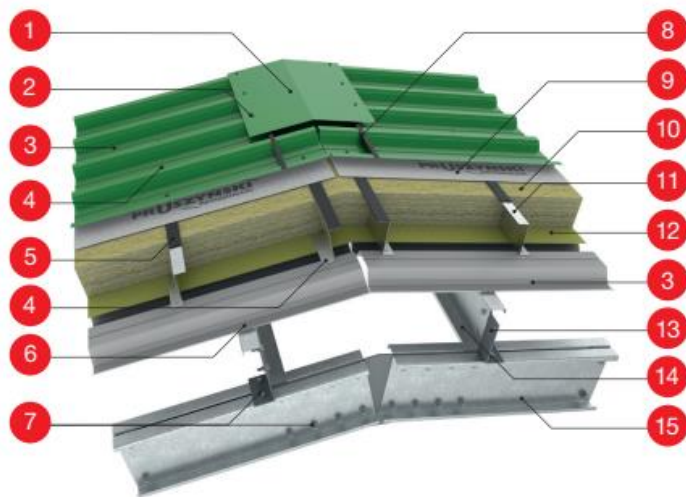


Рисунок 2.8 – Огороджуюча конструкція теплового покриття пошарової зборки по металевим прогонам [6]:

- 1 — планка конькова;
- 2 — саморіз (4,8 x 19);
- 3 — профнастил покрівельний;
- 4 — саморіз (5,5 x 25);
- 5 — термопрокладка (5 x 50);
- 6 — саморіз (5,5 x 25; 5,5 x 32);
- 7 — болт (M12; M16);
- 8 — ущільнювач під коньок;
- 9 — супердифузійна мембрана;
- 10 — утеплювач;
- 11 — дистанційний Z-прогон;
- 12 — пароізоляційна плівка;
- 13 — опорний столик;
- 14 — несучий прогон;
- 15 — ригель покриття

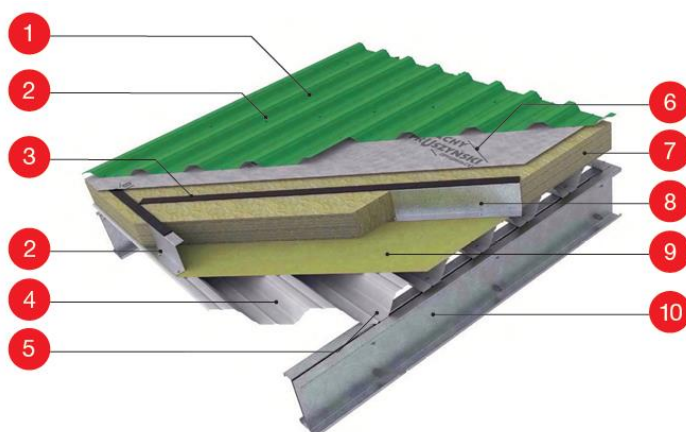


Рисунок 2.9 – Огороджуюча конструкція теплового покриття пошарової зборки за безпрогоною схемою [6]:

- 1 — профнастил покрівельний;
- 2 — саморіз (5,5 x 25);
- 3 — термопрокладка (5 x 50);
- 4 — несучий профнастил;
- 5 — саморіз (5,5 x 25; 5,5 x 32);
- 6 — супердифузійна мембрана;
- 7 — утеплювач;
- 8 — дистанційний Z-прогон;
- 9 — пароізоляційна плівка;
- 10 — ригель покриття

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 19

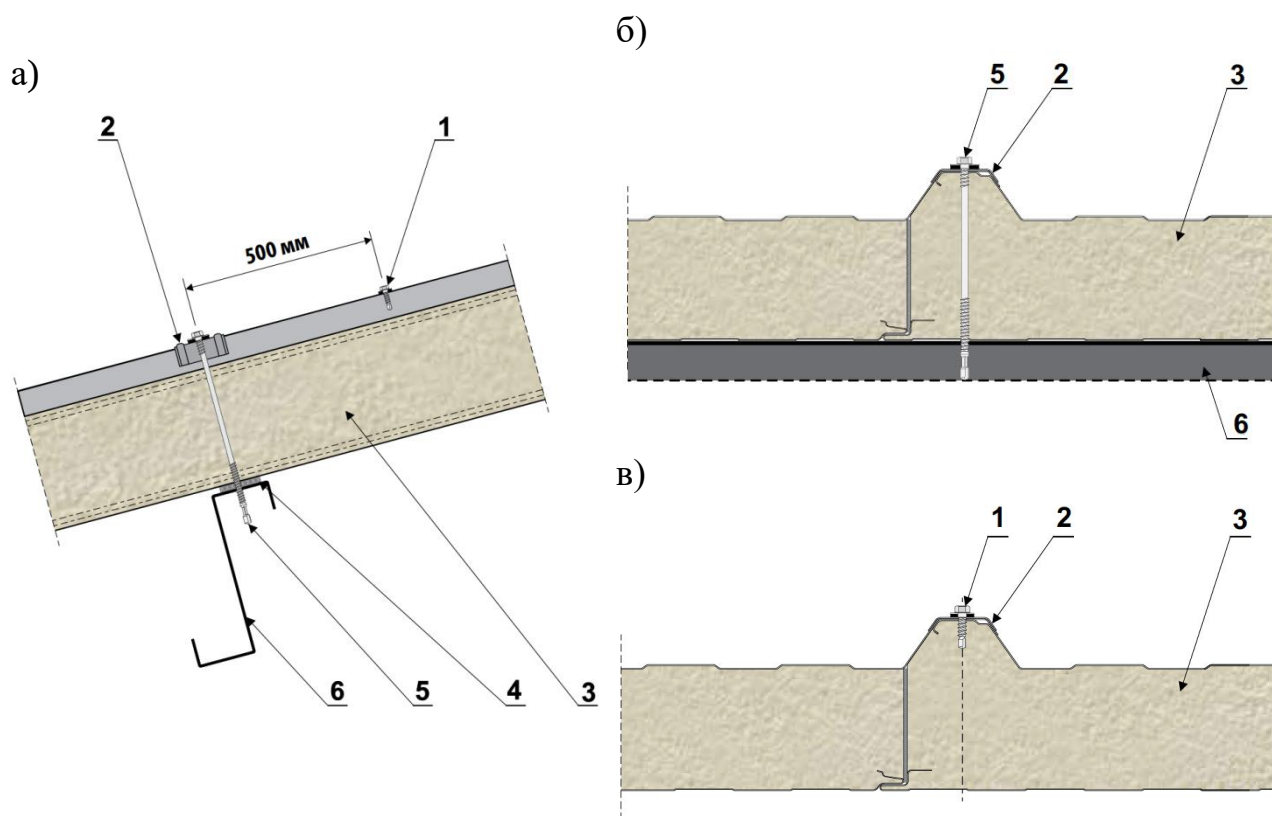


Рисунок 2.10 – Рішення з влаштування огорожуючої конструкції покриття із покрівельних сендвіч-панелей згідно з [8]:

- а, б – вузли кріплення сендвіч-панелей до прогонів (поперечний та поздовжній перерізи); в – з'єднання сендвіч-панелей між прогонами (поздовжній стик);
 1 – саморіз; 2 – розподілювач навантаження; 3 – покрівельна сендвіч-панель;
 4 – самонарізний болт для кріплення сендвіч-панелі; 6 – прогон

У випадку плоских покриттів з малим ухилом від 0 до 10 % найбільш ефективним є застосування покрівлі з полімерних мембран (рис. 2.11). Покрівельна полімерна мембрана являє собою плівковий матеріал товщиною 1,2-2,4 мм, який виробляється з спеціальної термопластичної і еластичної пластмаси, армованої текстильним матеріалом з поліестеру або склополотна. В якості еластичної пластмаси найчастіше застосовується полівінілхлорид (ПВХ). Оскільки матеріал виконується з термопластичної пластмаси його можна зварювати між собою та до металевих виробів. Це забезпечує можливість створення на всій площі покрівлі водонепроникного суцільного полотна. Кріплення полімерної мембрани до нижніх несучих листів профнастилу виконується механічним способом за допомогою спеціальних телескопічних кріпильних елементів та саморізів. Таким чином не потрібно виконувати, як у випадку рулонної покрівлі, додаткового міцного шару основи з розчину або бетону для приклеювання шару покрівлі. Огороджуюча конструкція покриття із застосуванням мембранної (м'якої) покрівлі може бути виконання як за прогоноювою так і за безпрогоноювою схемою.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 20

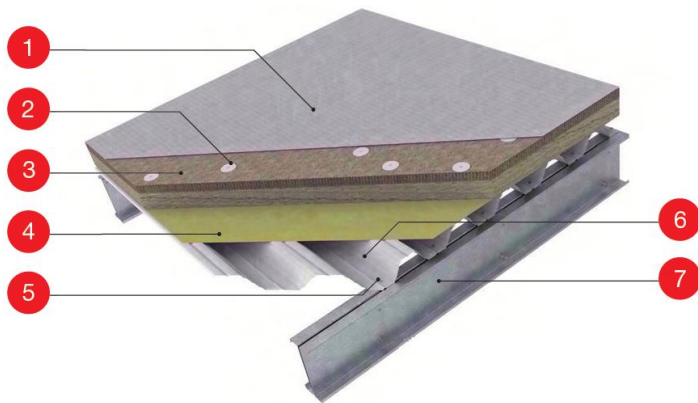


Рисунок 2.11 – Огороджуюча конструкція теплового покриття з мембранною покрівлею за безпроговою схемою [6]:

- 1 — покрівельна мембрана;
- 2 — кріплення теплоізоляції;
- 3 — утеплювач;
- 4 — пароізоляційна плівка;
- 5 — саморіз (5,5 x 25; 5,5 x 32);
- 6 — не с у ч и й профнастил;
- 7 — Ригель покриття

2.1.3 Підбір товщини теплоізоляції та товщини сандвіч-панелей для промислових будівель

При попередніх розрахунках можна наближено визначати необхідну товщину утеплювача за формулою

$$d_{min} = R_{qmin} \lambda_p, \quad (2.1)$$

де R_{qmin} — мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;

λ_p — теплопровідність утеплювача за розрахункових умов експлуатації (розрахункова теплопровідність), $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$, яка приймається згідно з ДСТУ 9191 «Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель» [11].

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції приймають в залежності від температурної зони розташування об'єкта, умов експлуатації та теплової інерції огорожувальних конструкцій D згідно з вимогами таблиці 2 ДБН В.2.6-31 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» [12], які наведені у таблиці 2.2.

Теплова інерція огорожувальної конструкції D визначається за методикою ДСТУ-Н Б В.2.6-190 «Настанова з розрахункової оцінки показників теплостійкості та теплосвоєння огорожувальних конструкцій» [13]. Для розглянутих огорожуючих конструкцій каркасних будівель можна приймати, що цей показник не перевищує 1,5. В таблиці 2.3 наведені необхідні значення товщини утеплювача (сандвіч-панелей), які розраховані за наближеною залежністю (2.1) за умови що показник $D \leq 1,5$.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 21

Таблиця 2.2 – Мінімально допустиме значення опору теплопередачі основних непрозорих огорожувальних конструкцій промислових будівель [12, табл. 2]

Вид огорожувальної конструкції та тепловологісний режим експлуатації будівлі	Значення R_{qmin} , $m^2 \cdot K / Bt$ для температурної зони	
	I	II
Зовнішні непрозорі стіни будівель:		
- з сухим і нормальним режимом з конструкціями з:		
$D > 1,5$	1,7	1,5
$D \leq 1,5$	2,2	2,0
- з вологим і мокрим режимом з конструкціями з:		
$D > 1,5$	1,8	1,6
$D \leq 1,5$	2,4	2,2
Покриття будівель:		
- з сухим і нормальним режимом з конструкціями з:		
$D > 1,5$	1,7	1,6
$D \leq 1,5$	2,2	2,1
- з вологим і мокрим режимом з конструкціями з:		
$D > 1,5$	1,7	1,6
$D \leq 1,5$	1,9	1,8

Температурна зона розташування об'єкта встановлюється згідно з картою додатку А ДБН В.2.6-31 (рис. 2.12).



Рисунок 2.12 – Карта температурних зон України [12, с. 16]

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 22

Таблиця 2.3 – Потрібні товщини теплоізоляції огорожуючих конструкцій виробничих будівель з металевим каркасом

Вид огорожувальної конструкції та тепловологісний режим експлуатації будівлі	Розрахункова тепло-провідність* утеплювача λ_p , Вт / м ² ·К	Потрібна товщина теплоізоляції (сендвіч-панелі) d_{min} , мм, для температурної зони	
		I	II
Зовнішні непрозорі стіни будівель:			
1) з сухим і нормальним режимом експлуатації з утеплювачем з:			
- мінеральної вати густиною $\rho_0 = 50 \dots 100$ кг/м ³ ;	0,049	108	98
- пінополіуретану (PUR, PIR) густиною $\rho_0 = 40$ кг/м ³ ;	0,040	88	80
-пінополістиролу (EPS) густиною $\rho_0 = 25 \dots 35$ кг/м ³	0,048	106	96
2) з вологим і мокрим режимом експлуатації з утеплювачем з:			
- мінеральної вати густиною $\rho_0 = 50 \dots 100$ кг/м ³ ;	0,049	118	108
- пінополіуретану (PUR, PIR) густиною $\rho_0 = 40$ кг/м ³ ;	0,040	96	88
-пінополістиролу (EPS) густиною $\rho_0 = 25 \dots 35$ кг/м ³	0,048	116	106
Покриття будівель:			
1) з сухим і нормальним режимом експлуатації з утеплювачем з:			
- мінеральної вати густиною $\rho_0 = 150 \dots 175$ кг/м ³ ;	0,051	113	108
- пінополіуретану (PUR, PIR) густиною $\rho_0 = 40$ кг/м ³ ;	0,040	88	84
-пінополістиролу (EPS) густиною $\rho_0 = 25 \dots 35$ кг/м ³	0,048	106	101
2) з вологим і мокрим режимом експлуатації з утеплювачем з:			
- мінеральної вати густиною $\rho_0 = 150 \dots 175$ кг/м ³ ;	0,051	97	92
- пінополіуретану (PUR, PIR) густиною $\rho_0 = 40$ кг/м ³ ;	0,040	76	72
-пінополістиролу (EPS) густиною $\rho_0 = 25 \dots 35$ кг/м ³	0,048	92	87
Примітка. *Більш точніші значення показника розрахункової теплопровідності дозволяється приймати за результатами випробувань виробників матеріалів.			

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 23

2.2 Рекомендації для проектування несучих конструкцій каркасу будівлі

2.2.1 Вибір конструкцій поперечних рам

Вибір конструкцій поперечних рам залежить від висоти будівлі H , прольоту L та кроку поперечних рам B (див. рис. 2.1).

Сталеві колони. Сталеві колони одноповерхових виробничих будівель можуть суцільного та наскрізного перерізу. Також переріз колон може бути постійний і ступінчастий по висоті. В будівлях з мостовими кранами переріз колон приймається ступінчастим по висоті. Вибір типу перерізу колон залежить від навантажень та висоти будівлі. Рекомендується з вимог економічності та умови найменших трудовитрат на виготовлення приймати:

- суцільний постійний по висоті переріз колон безкранових будівель і висоті будівлі до 9 м;
- суцільний ступінчастий переріз для колон з мостовими кранами вантажопідйомністю до 20 т в будівлях висотою до 9 м;
- наскрізний ступінчастий переріз для будівель з крановим обладнанням висотою більше 9 м.

Висота одноповерхових безкранових будівель, як правило, не перевищує 9 м, тому в таких будівлях проектують колони суцільного постійного перерізу по висоті. Для зменшення трудомісткості ці колони рекомендується виконувати з прокатних широкополичних двотаврових балок (типу HE) за ДСТУ EN 10365 або зварних двотаврів заводського виготовлення.

Ригелі покриття. Ригеля покриття одноповерхових будівель можуть бути суцільного перерізу у вигляді кроквяних балок та наскрізного перерізу у вигляді кроквяних ферм.

Балки суцільного перерізу, як правило, застосовуються при прольотах до 12 м. Більш прогресивні рішення з влаштування рам з суцільними ригелями дозволяють їх застосовувати при прольотах до 30 м.

При помірних навантаженнях на покриття до 8 кПа та прольотах більше 12 м найбільш економічними для підтримання елементів покриття є кроквяні ферми завдяки раціональному використанню матеріалу стержнів.

Фермою називається наскрізна або решітчаста конструкція, що загалом працює як і балка на згин або згин зі стиском. Ферма складається з окремих стержнів, що завдяки з'єднанням у вузлах утворюють геометрично незмінну систему. Прикладання навантажень на ферму організовують, як правило, у вузлах, тому в усіх її стержнях виникають тільки поздовжні зусилля стиску або розтягу при загальній роботі ферми на згин. Це забезпечує більш раціональне використання металу у фермах ніж у балках. Тому ферми більш економічні балок по масі, але мають більшу трудомісткість у виготовленні.

Компонування конструктивної схеми ферми містить вибір кутів ухилу поясів, схеми решітки та генеральних розмірів конструкції. Кути похилу поясів

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 24

приймають у відповідності до вимоги щодо допустимого ухилу покрівлі конкретного типу (див. табл. 2.1). Наприклад, для покрівель з використанням профільованого настилу допустимий ухил становить від 10 до 100 %, а для покрівлі з полімерних мембран не обмежується. Для сучасних рішень рулонних покрівель по залізобетонному настилу допустимий ухил становить від 0 до 25 %.

Приклади найбільш розповсюджених (типових) схем ферм в залежності від ухилу верхнього поясу наведені на рисунку 2.13.

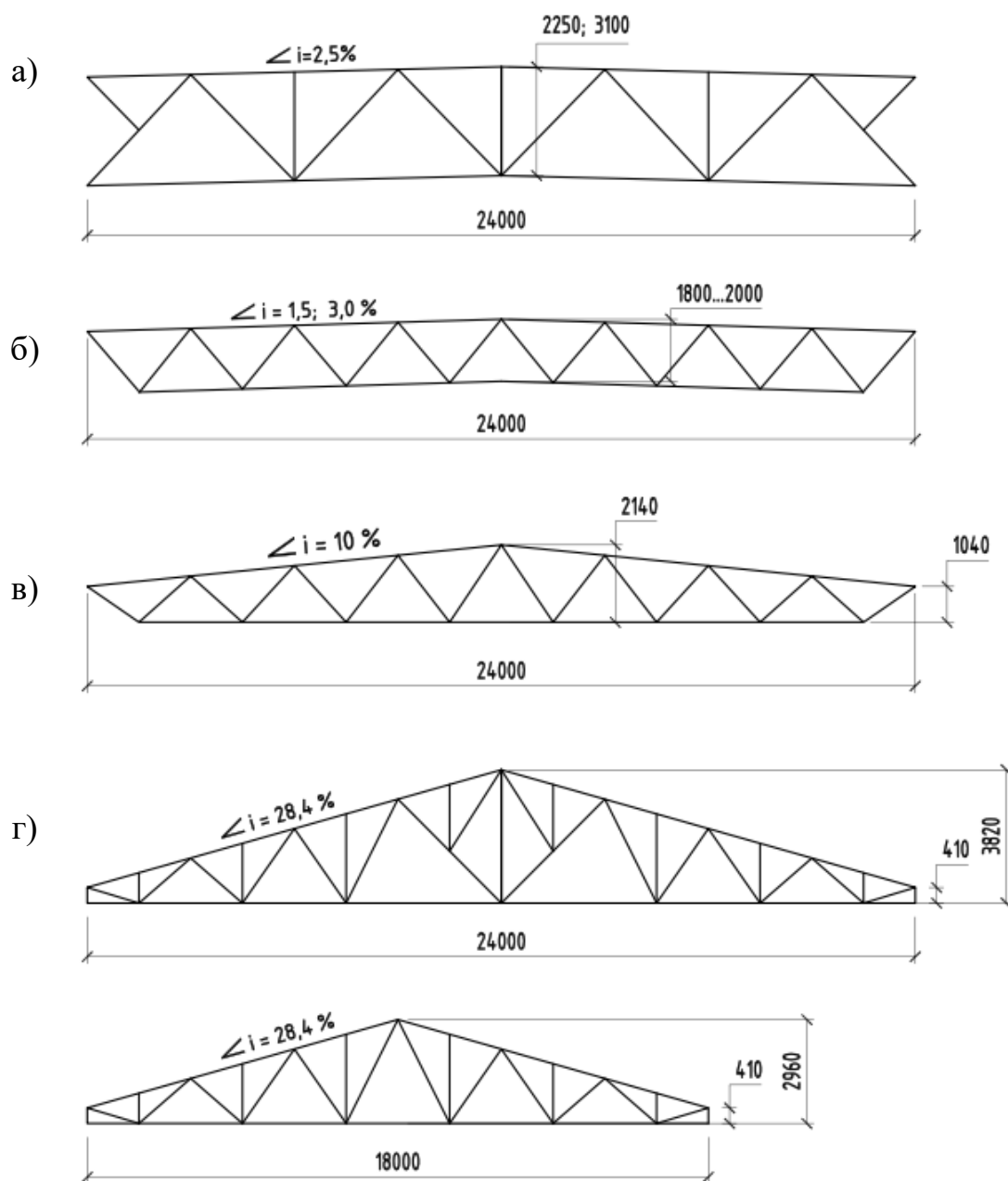


Рисунок 2.13 – Приклади типових схем кроквяних ферм:

- а) з паралельними поясами, які жорстко з'єднуються з колонами;
- б) з паралельними поясами, які шарнірно з'єднуються з колонами;
- в) у формі трапеції з ламаним нижнім поясом;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 25

г) трикутні для неопалюваних будівель з покрівлею з азбоцементних листів

Висоти ферми на опорі та в середині прольоту приймають виходячи із раціональності статичної схеми, яка полягає у максимальному наближенні конструктивної форми до епюри згинальних моментів відповідної балкової системи. Оптимальне відношення з точки зору витрат матеріалу висоти ферми до прольоту наближено становить $h_{\text{опт}}/L = 1/4 \dots 1/6$. При перевезенні залізничним транспортом висота ферми має не перевищувати 3,9 м. У зв'язку з цим при проектуванні доводиться приймати ферми прольотам більше 18 м з відношенням $h/L = 1/8 \dots 1/10$. Також при перевезенні слід дотримуватися обмеження щодо максимальної довжини відправних марок конструкцій, яка не повинна перевищувати 15 м. Тому доводиться при проектуванні ферми прольотам більше 15 м розбивати на дві відправні марки (напівферми), які з'єднуються на будівельному майданчику монтажними вузлами.

Під час компонування ферми слід враховувати вимоги уніфікації розмірів та типізації вузлів. Розмір панелі ферми, який визначається відстанню по горизонталі між вузлами стиснутого поясу, визначається під час вибору схеми решітки та погоджуються з кроком прогонів для забезпечення прикладання навантажень у вузлах. Відстань між прогонами приймають по можливості постійною вздовж ферми в межах 1,5-3 м. Оптимальний кут нахилу розкосів до поясів визначається за умовами найменших витрат матеріалу решітки та залежить від її типу: при трикутній становить 45° , розкісній – 35° [14].

2.2.2 Навантаження і впливи

Навантаження і впливи на конструкції будівель слід враховувати у відповідності до вимог ДБН В.1.2-2 [15]. Основними видами навантажень, які діють на каркаси одноповерхових безкранових будівель є:

- постійні навантаження від власної ваги несучих та огорожуючих конструкцій.
- змінні, як правило, короточасні кліматичні навантаження від впливів снігу та вітру.

В особливих або складних умовах будівництва може виникати необхідність врахування епізодичних навантажень від сейсмічних та вибухових впливів, від нерівномірного осідання чи просідання опор, внаслідок порушення технологічного процесу тощо. Такі види навантажень розглядають в спеціальних курсах.

Правила врахування навантажень розглянуті в прикладі в розділі 3 цих вказівок.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 26

2.2.3 Статичний розрахунок поперечної рами

Розрахунок зусиль в елементах поперечної рами виконують методами будівельної механіки. В більшості випадків коли немає потреби враховувати динамічні навантаження (сейсмічні, ударні, вибухові тощо) обмежуються статичними розрахунками. На практиці статичний розрахунок поперечної рами, як правило, виконують за допомогою програмних комплексів (ПК «ЛІРА-САПР», ПК «SCAD Office» тощо. Розрахунки в програмному комплексі виконують у такій послідовності:

- складають спрощену геометричну модель реальних конструкцій у вигляді стрижневої схеми;
- у вузлах моделі встановлюють шарніри та зв'язки, які наближено відповідають реальним умовам роботи конструкцій;
- послідовно складають можливі схеми навантажень;
- попередньо по проектам-аналогам задають жорсткості всім елементам (розміри перерізів та деформаційні характеристики матеріалів);
- назначають можливі сполучення навантажень на поперечну раму;
- виконують розрахунок і в автоматизованому режимі визначають найбільш несприятливі (розрахункові) сполучення зусиль в перерізах (елементах) поперечної рами.

Визначення зусиль для розрахунку елементів поперечної рами за 1-ю групою граничних станів (за несучою здатністю) виконують на граничні значення навантажень.

Розрахунки в програмних комплексах також дозволяють визначити переміщення конструкцій від навантажень і виконати перевірки умов за 2-ю групою граничних станів (за деформаціями). Для цього слід окремо розглянути сполучення навантажень з експлуатаційними значеннями. Для цього слід виконати такі подальші дії:

- виконати розрахунки підбору перерізів елементів рами із умов забезпечення їх несучої здатності;
- відкоригувати в розрахунковій моделі поперечної рами жорсткості елементів у відповідності до результатів підбору перерізів за несучою здатністю;
- скласти спеціальні комбінації навантажень з експлуатаційними значеннями для розрахунку переміщень;
- виконати розрахунки уточненої комп'ютерної розрахункової моделі поперечної рами і визначити максимальні переміщення її елементів;
- виконати перевірочні розрахунки за деформаціями елементів поперечної рами згідно з умовою

$$f \leq [f], \quad (2.2)$$

де f – розрахункове переміщення від експлуатаційного сполучення навантажень; $[f]$ – допустиме значення переміщення згідно з вимогами [16].

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 27

2.2.4 Забезпечення стійкості ферм

Стійкість – це здатність конструкції та її елементів зберігати своє початкове положення та деформований стан при діючих навантаженнях. Втрата стійкості стиснутих елементів ферми пов'язана з переходом їх в інший деформований стан, який характеризується розвитком згинальних деформацій та суттєвим зменшенням здатності елемента сприймати стискаючі зусилля.

В площині ферма є геометрично незмінюваною жорсткою конструкцією. Це означає що, загальні деформації в площині ферми є незначними і не порушують геометричну форму. Тому в площині ферми розрахункова довжина елементів ферми l_{ef} приймається відносно рівною геометричній довжині елементів між вузлами ферми.

Натомість у напрямку із площини ферми її жорсткість є в рази меншою. У цьому випадку пояси ферми є гнучкими стержневими елементами, які закріплені на опорах ферми до колон (рис. 2.14б). Тобто розрахункова довжина стиснутого поясу із площини ферми $l_{ef,1}$ наближено дорівнює відстані між опорами ферми, яка в рази перевищує відстань між вузлами ферми. Це означає що стійкість поясів ферми із площини буде також в рази меншою ніж стійкість елементів поясів в площині ферми. Наявність прогонів та розпірок не забезпечує розкріплення ферми із площини ферми, а навіть може погіршувати роботу поясів ферми завдяки передачі горизонтальних навантажень, від яких в поясах ферми можуть виникати згинальні моменти.

Таким чином для забезпечення стійкості елементів ферми із площини необхідно забезпечити закріплення їх проміжних вузлів в поздовжньому напрямку будівлі (рис. 2.14в). Для цього в покриттях влаштовують жорсткі в'язеві блоки, які являють собою дві ферми об'єднані горизонтальними та вертикальними в'язями (рис. 2.14а). Жорсткість таких в'язевих конструкцій із площини ферми не менше ніж в площині ферми. Таким чином забезпечується геометрична незмінність конструкцій покриття у напрямку із площини ферми. Всі інші ферми поперечних рам із площини закріплюються до в'язевого блоку завдяки встановленню розпірок по нижньому поясу та включення в роботу прогонів.

В розрахунках стійкості для визначення критичних стискаючих напружень використовують поняття гнучкості елемента λ . За допомогою цього показника враховують вплив геометричних параметрів перерізу та умов закріплення стержня на його стійкість. Гнучкість елемента дорівнює:

- в площині ферми $\lambda_{ef} = l_{ef}/i_y$;
- із площини ферми $\lambda_{ef,1} = l_{ef,1}/i_z$,

де l_{ef} , $l_{ef,1}$ – розрахункові довжини елемента ферми відповідно в площині ферми та із площини ферми;

i_y , i_z – радіуси інерції перерізу елементів ферми відносно відповідних осей.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 28

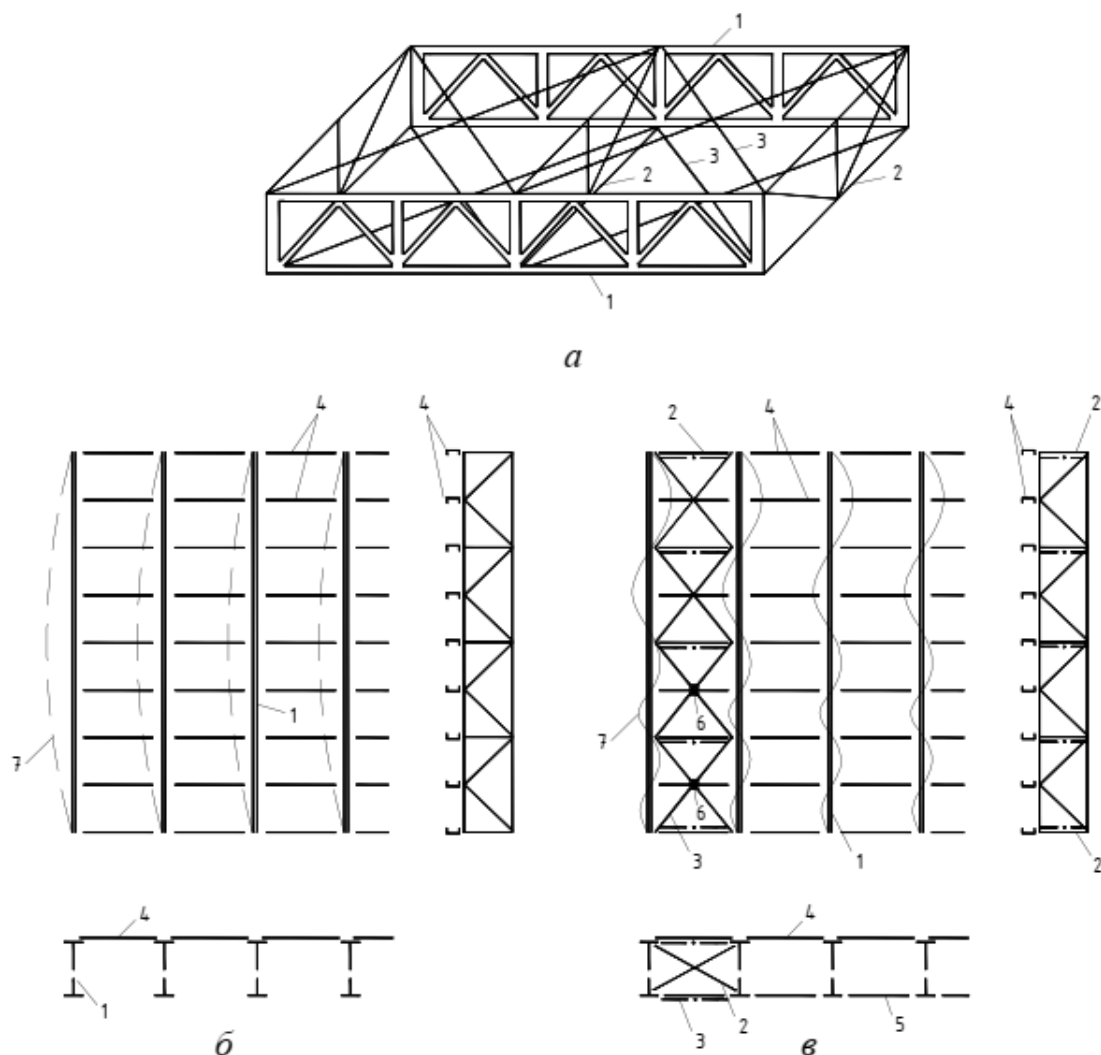


Рисунок 2.14 – Розкріплення елементів ферми із площини ферми за допомогою в'язів [14, с. 18]: а – схема просторового в'язевого блока; б – схема покриття за відсутності в'язів; в – те ж за наявності в'язевого блоку;
1 – кроквяні ферми; 2 – вертикальні в'язі; 3 – горизонтальні в'язі; 4 – прогони;
5 – розпірки в рівні нижніх поясів; 6 – вузол кріплення горизонтальних в'язів до прогонів в рівні верхніх поясів; 7 – осі поясів при втраті стійкості в напрямку із площини ферми

2.2.5 Вибір типів перерізів елементів ферми

При виборі перерізу елементів ферм слід віддавати перевагу профілям з великим радіусом інерції при найменшій площі поперечного перерізу. Це пояснюється тим, що при роботі на стиск необхідно звести до мінімуму втрати матеріалу, пов'язані із забезпеченням стійкості стержня: чим більший радіус інерції, тим менша гнучкість стержня, отже й більше значення коефіцієнта поздовжнього згину φ .

Найбільше розповсюдження в кроквяних фермах одержали складені таврові перерізи з двох прокатних кутиків. Ці перерізи зручні в

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 29

конструктивному відношенні, забезпечують просте з'єднання з фасонками у вузлах. Комбінуючи типи та розміри кутиків, можна конструювати перерізи з різними радіусами інерції, що дозволяє при різних розрахункових довжинах стержня (в площині – l_{ef} та із площини ферми – $l_{ef,1}$) підбирати рівностійкий ($\lambda_{ef} \approx \lambda_{ef,1}$) стержень. На рисунку 2.15 наведено найбільш розповсюджені типи поперечних перерізів ферм, які використовуються в сучасному будівництві.

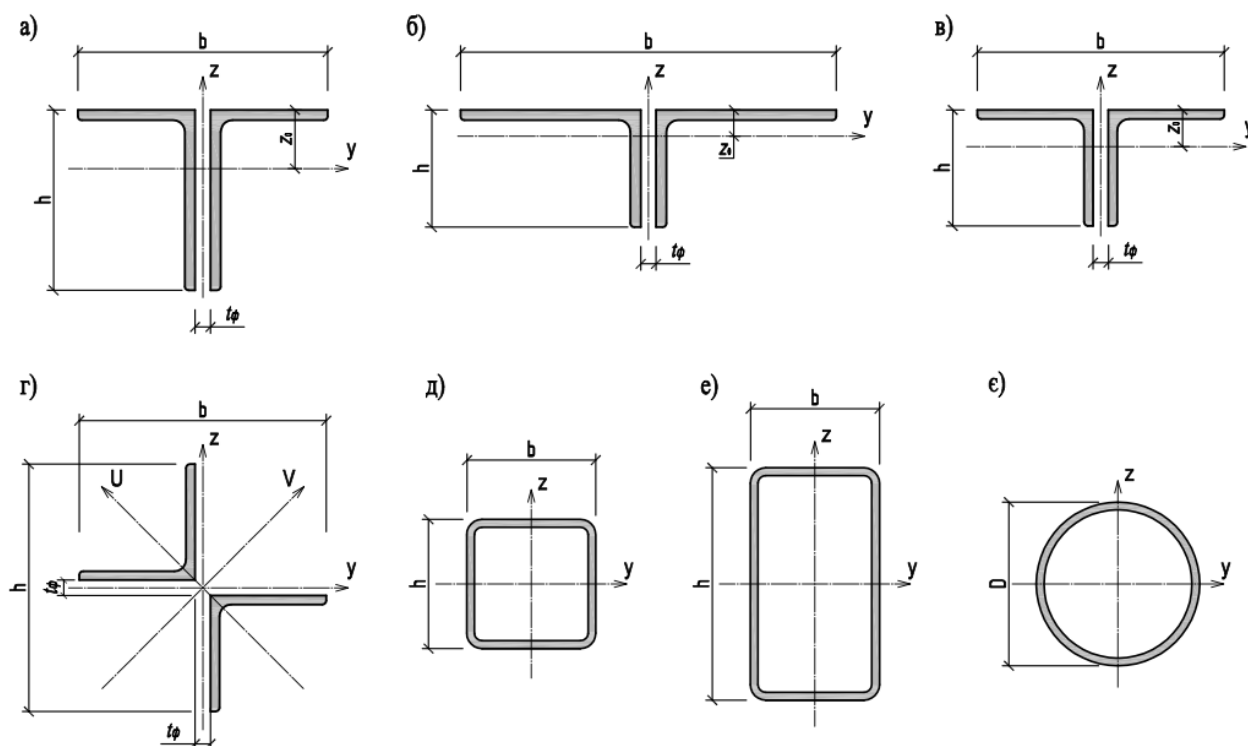


Рисунок 2.15 – Типи перерізів елементів ферм:

а – складеного таврового перерізу з нерівнополичних кутиків великими полицями разом; б – те ж малими полицями разом; в – те ж з рівнополичних кутиків; г – складеного хрестового перерізу з рівнополичних кутиків; д – з гнutoзварного квадратного профілю; е – з гнutoзварного прямокутного профілю; є – з круглої труби

Для поясів ферм найбільш раціональними є складені перерізи, сформовані з двох нерівнополичних кутиків. Якщо розрахункова довжина поясу в площині та із площини ферми однакова ($l_{ef} = l_{ef,1}$), то нерівнополичні кутики розміщують більшими полицями разом (рис. 2.15, а).

Якщо розрахункова довжина l_{ef} вдвічі більша ніж $l_{ef,1}$, то нерівнополичні кутики слід розміщати малими полицями разом (див. рис. 2.15, б).

Складений тавровий переріз з двох рівнополичних кутиків (див. рис. 2.15, в) відповідає стиснутим елементам решітки. Проте на практиці такий тип перерізу широко застосовується й для поясів у зв'язку з обмеженістю випуску нерівнополичних кутиків.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 30

Для стояків, особливо в монтажних вузлах та в площині розміщення вертикальних в'язей, використовують складений хрестовий переріз з двох рівнополичних кутиків (див. рис. 2.15, з), для яких радіуси інерції в обох напрямках однакові.

Враховуючи можливості металургійної промисловості, перерізи з двох рівнобічних кутиків в даний час є основними для виготовлення кроквяних ферм.

Використання для елементів ферм круглих труб та замкнених гнutoзварних профілів (див. рис. 2.15 д-є) дозволяє:

- підвищити ефективність конструкції завдяки більш раціональному розподілу матеріалу по перерізу;
- застосовувати безфасонкові вузли, що забезпечує безпосереднє з'єднання розкосів з поясами;
- підвищити корозійну стійкість стержнів з меншою поверхнею контакту з навколишнім середовищем при одночасному зниженні маси ферм.

Зокрема у фермах зі зварних квадратних та круглих труб (див. рис. 2.15, є) забезпечується рівнoстійкість стержнів за рахунок рівності радіусів інерції $i_y = i_z$. Форма перерізу усуває утворення осередків корозії, суттєво скорочує сумарну поверхню ґрунтування та фарбування. Загальним недоліком труб та замкнених профілів є необхідність герметизації внутрішніх порожнин для запобігання утворенню осередків корозії.

2.2.6 Розрахункові довжини і граничні гнучкості елементів плоских ферм та в'язів

Розрахункові довжини елементів ферм та в'язів призначають у відповідності до вимог п. 13.1 ДБН В.2.6-198 [17] в залежності від типу перерізу, конструктивних рішень вузлових з'єднань та розташування в'язів. Значення розрахункових довжин в площині ферми l_{ef} та із площини ферми $l_{ef,1}$ приведені в таблиці 2.4 у відповідності до схем на рисунку 2.16.

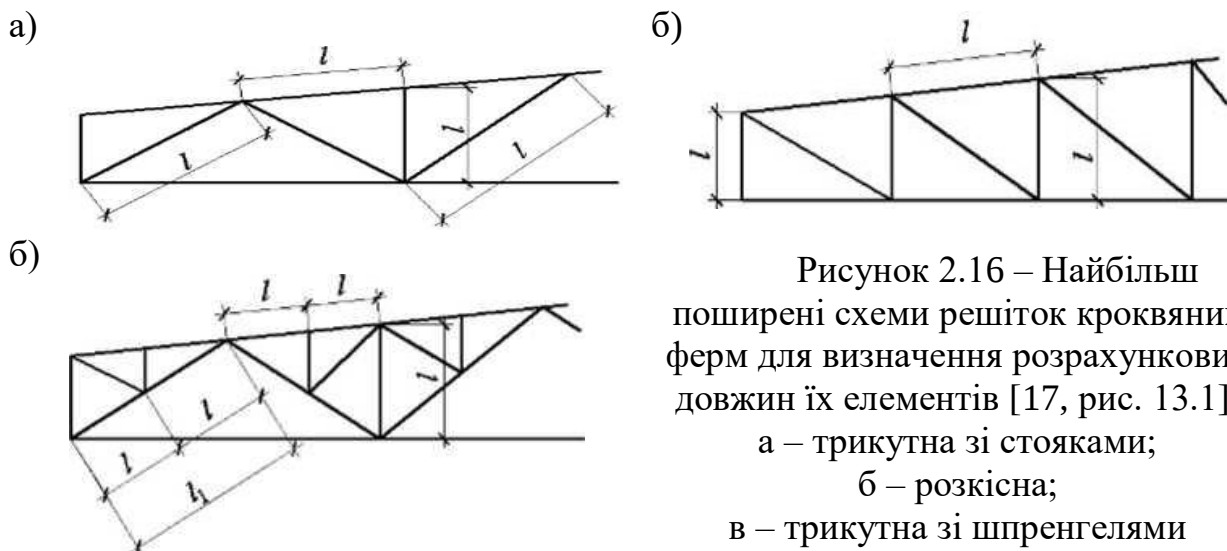


Рисунок 2.16 – Найбільш поширені схеми решіток кроквяних ферм для визначення розрахункових довжин їх елементів [17, рис. 13.1]:

а – трикутна зі стояками;

б – розкісна;

в – трикутна зі шпренгелями

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 31

Таблиця 2.4 – Коефіцієнти умов роботи елементів ферм виробничих будівель [17, табл. 13.1]

Напрямок поздовжнього згину елемента ферми	Розрахункові довжини l_{ef} і $l_{ef,1}$		
	поясів	опорних розкосів і опорних стояків	решти елементів решіток
1. У площині ферми l_{ef}			
а) для ферм, окрім зазначених у позиції 1, б)	l	l	$0,8 l$
б) для зварних ферм, елементи яких виконані з одиничних кутиків, і ферм із прикріпленням елементів решітки до поясів впритул	l	l	$0,9 l$
2. У напрямку із площини ферми $l_{ef,1}$			
а) для ферм, окрім зазначених у позиції 2, б)	l_1	l_1	l_1
б) для ферм з поясами з замкнутих профілів із прикріпленням елементів решітки до поясів впритул	l_1	l_1	$0,9 l_1$
3. У будь-якому напрямку для зварних ферм, елементи яких виконані з одиничних кутиків, при однакових відстанях між точками закріплення елементів у площині та з площини ферми ($l_{ef} = l_{ef,1}$)	$0,85 l$	l	$0,85 l$
Примітка. l – геометрична довжина елемента (відстань між центрами найближчих вузлів) у площині ферми; l_1 – відстань між вузлами закріпленими від зміщення із площини ферми (поясами ферм, спеціальними в'язами, жорсткими плитами покриттів, прикріпленими до пояса зварними швами або болтами тощо).			

Фактичні гнучкості елементів металевих конструкцій λ обмежують граничними значеннями λ_u , які приймають для стиснутих елементів з умов обмеження впливу геометричних відхилень на їх стійкість, а для розтягнутих елементів – з умови забезпечення їх несучої здатності під час монтажу та транспортування. Таким чином під час проектування має виконуватися умова:

$$\lambda \leq \lambda_u \quad (2.3)$$

Згідно з п. 13.4 ДБН В.2.6-198 [17] значення граничної гнучкості приймається $\lambda_u = 200$ для стиснутих елементів і $\lambda_u = 400$ – для розтягнутих елементів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 32

2.2.7 Основи розрахунку стиснутих і розтягнутих елементів ферми

Розрахунок елементів сталевих ферм при центральному розтягу і стиску виконують у відповідності до положень п. 8.1 ДБН В.2.6-198 [17] з врахуванням коефіцієнтів умов γ_c у відповідності до вимог таблиці 5.1 ДБН В.2.6-198. Вибірково коефіцієнти умов роботи елементів ферм наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Коефіцієнти умов роботи елементів ферм виробничих будівель [17, табл. 2.4]

Найменування елементів	γ_c
1. Стиснуті основні елементи (крім опорних) решітки складеного таврового перерізу з двох кутиків у зварних фермах покриттів і перекриттів при розрахунку на стійкість зазначених елементів із гнучкістю $\lambda > 60$	0,80
2. Стиснуті елементи ферм з поодиноких кутиків	0,75
3. Перерізи елементів ферм зі сталі з границею текучості до 440 МПа, що несуть статичне навантаження, при розрахунку на міцність у перерізі послабленому отворами для болтів	1,05
4. Для елементів, які не зазначені в п. 1-3 таблиці	1,00

Для виготовлення конструкцій безкранових промислових будівель переважно застосовують маловуглецеві та низьколеговані будівельні сталі класів С235...С390 згідно з ДСТУ 8539 «Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови» [18]. Міцність таких сталей характеризується показником границі текучості (σ_T), тобто значення характеристичного опору $R_{yn} = \sigma_T$ і відповідає умові $R_{yn} \leq 390$ МПа. У такому разі розрахунок на міцність елементів конструкцій при центральному розтязі і стиску слід виконувати за формулою:

$$\frac{N\gamma_n}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (2.4)$$

де N – розрахункове граничне значення поздовжнього зусилля в елементі;
 γ_n – коефіцієнт надійності (відповідальності) елемента конструкції, який приймають згідно з таблицею 5 ДБН В.1.2-14 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [19] в залежності від класу наслідків (відповідальності) будівлі та класу відповідальності конструкції згідно з додатком А ДБН В.2.6-198;

A_n – площа перерізу елемента «нетто» (з врахуванням послаблень, найчастіше у вигляді отворів під болти);

R_y – розрахунковий опір сталі розтягу, стиску і згину за границею текучості, що дорівнює $R_y = R_{yn}/\gamma_m$, де γ_m – коефіцієнт надійності за матеріалом.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 33

Коефіцієнт надійності за матеріалом для будівельних сталей класів С235...С390 за ДСТУ 8539 приймають рівним $\gamma_m = 1,025$. У інших випадках слід керуватися вимогами таблиці 7.2 ДБН В.2.6-198.

Розрахунки на міцність перерізу розтягнутих елементів з поодиноких кутиків в місцях їх кріплення болтами слід виконувати за додатковою умовою згідно з вимогами п. 8.1.2 ДБН В.2.6-198.

Розрахунок на стійкість елементів при центральному стиску необхідно виконувати за формулою

$$\frac{N\gamma_n}{\varphi AR_y\gamma_c} \leq 1, \quad (2.5)$$

де φ – коефіцієнт стійкості при центральному стиску, який залежить від типу перерізу та показника умовної гнучкості елемента

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y/E}, \quad (2.6)$$

де $\lambda = l_{ef}/i$ – гнучкість елемента; E – модуль пружності сталі, який дорівнює $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа [17, с. 142].

Значення коефіцієнта φ при $\bar{\lambda} \geq 0,4$ необхідно обчислювати за формулою

$$\varphi = \frac{0,5}{\bar{\lambda}^2} \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48\bar{\lambda}^2} \right). \quad (2.7)$$

Значення коефіцієнта δ у формулі (2.6) слід обчислювати за формулою

$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta\bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 \quad (2.8)$$

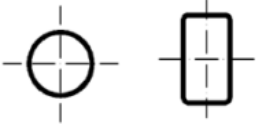
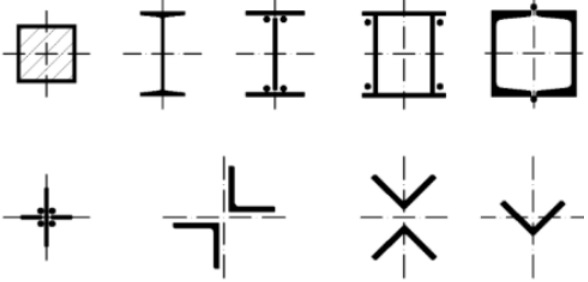
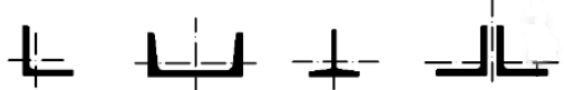
де α і β – коефіцієнти, що характеризують початкові неправильності форми та залишкові напруження і визначаються за таблицею 8.1 ДБН В.2.6 198 залежно від типу поперечного перерізу стрижня та типу кривої стійкості (табл. 2.6).

Значення коефіцієнтів φ , обчислені за формулою (2.6), слід приймати не більшими за $7,6/\bar{\lambda}^2$ для типу:

- кривої стійкості a коли $\bar{\lambda} > 3,8$;
- кривої стійкості b коли $\bar{\lambda} > 4,4$;
- кривої стійкості c коли $\bar{\lambda} > 5,8$.

При значеннях $\bar{\lambda} < 0,4$ для всіх типів кривої стійкості допускається приймати $\varphi = 1,0$.

Таблиця 2.6 – Значення коефіцієнтів α і β [17, табл. 8.1]

Тип поперечного перерізу	Тип кривої стійкості	Значення коефіцієнтів	
		α	β
	a	0,03	0,06
	b	0,04	0,09
	c	0,04	0,14

2.2.8 Підбір перерізів елементів ферми

Підбір перерізів елементів ферми виконують з умов забезпечення міцності (2.4), стійкості (2.5) та гнучкості елементів (2.3).

Підбір перерізів розтягнутих елементів виконують у такій послідовності:

1) З умови забезпечення міцності (2.4) визначають потрібну площу (нетто) перерізу конструкції і підбирають необхідний по сортаменту переріз площею A_n за умовою

$$A_n \geq A_{\text{пт.}} = \frac{N\gamma_n}{R_y\gamma_c}; \quad (2.9)$$

2) визначають фактичні гнучкості елемента і перевіряють виконання умови (2.3) для розтягнутих елементів в напрямках в площині та із площини ферми

$$\lambda_{ef} = l_{ef}/i_x \leq \lambda_u = 400; \quad \lambda_{ef,1} = l_{ef,1}/i_z \leq \lambda_u = 400. \quad (2.10)$$

Якщо умова гнучкості в будь-якому напрямку не виконується збільшують переріз елемента до виконання умови. На практиці у випадку коли не виконується умова гнучкості елемента із площини, тобто $\lambda_{ef,1} > \lambda_u$, може бути прийняте рішення про зміну схеми встановлення в'язів для зменшення розрахункової довжини $l_{ef,1}$ і завдяки цьому досягнути виконання умови гнучкості.

Оптимальним підібраним перерізом з умови міцності (2.9) є переріз площею якого A_n не перевищує більше ніж 5...10 % потрібне значення $A_{\text{пт.}}$. Проте коли елемент є малонавантаженим цю умову не можливо виконати. У такому

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 35

випадку основними умовами підбору перерізу є умови гнучкості (2.10).

Підбір перерізів стиснутих елементів виконують у такій послідовності:

1) Попередньо задаються показником гнучкості елемента: попередньо приймають для поясів та опорних розкосів $\lambda = 80-100$, а для елементів решітки $\lambda = 100-120$;

2) Визначають в залежності від типу перерізу із використанням залежностей (2.6)...(2.8) коефіцієнт поздовжнього згину φ ;

3) Із умови забезпечення стійкості (2.5) розраховують потрібну площу перерізу елемента і складають умову підбору перерізу за потрібною площею

$$A \geq A_{\text{пт.}} = \frac{N\gamma_n}{\varphi R_y \gamma_c}; \quad (2.8)$$

4) із умов гнучкості (2.3) визначають потрібні радіуси інерції стиснутого елемента в напрямках в площині і із площини ферми і складають умови підбору перерізу за показниками гнучкості

$$i_y \geq i_{y,\text{пт.}} = \frac{l_{ef}}{\lambda}; \quad i_z \geq i_{z,\text{пт.}} = \frac{l_{ef,1}}{\lambda}; \quad (2.9)$$

5) Розглядаючи одночасно умови підбору перерізу (2.8) і (2.9) визначають по сортаменту необхідний переріз з фактичними параметрами A, i_y і i_z , які відповідають цим вимогам, а саме

$$A \geq A_{\text{пт.}}, \quad i_y \geq i_{y,\text{пт.}}, \quad i_z \geq i_{z,\text{пт.}};$$

6) Перевіряють умови оптимальності підбраного перерізу:

$$\left(\frac{A}{A_{\text{пт.}}} - 1 \right) \cdot 100 < (5 \dots 10) \%,$$

$$(i_{y(z)}/i_{y(z),\text{пт.}} - 1) \cdot 100 < (5 \dots 10) \%.$$

Якщо 1-а або 2-а умова оптимальності не виконується це означає що фактична гнучкість підбраного перерізу суттєво відрізняється від попередньо заданого значення λ . У таких випадках слід відкоригувати попереднє значення гнучкості:

у бік зменшення – якщо не виконується 1-а умова оптимальності;

у бік збільшення – якщо не виконується 2-а умова оптимальності.

Далі слід розрахунок по п. 2-6 цієї послідовності повторювати до одночасного виконання вимог оптимальності підбраного перерізу.

У випадках незначних стискаючих зусиль для перерізу елемента може виявитися, що основною розрахунковою умовою є умова забезпечення гнучкості. В такому випадку слід розглядати лише умову оптимальності за порівнянням значень радіусу інерції у напрямку, в якому гнучкість елемента є максимальною

$$(i_{y(z)}/i_{y(z),\text{пт.}} - 1) \cdot 100 < (5 \dots 10) \%.$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 36

2.2.9 Практичні та конструктивні рекомендації з проектування ферми

Під час проектування ферми слід дотримуватися таких практичних та конструктивних рекомендацій:

1) Товщину вузлових фасонів ферм з прокатних кутиків t_f призначають в залежності від найбільшого значення зусилля в елементах решітки, що за результатами статичного розрахунку виникає, як правило, в опорному розкосі. Вона приймається, як правило, однаковою для усієї ферми (табл. 2.7). Допускається за умови техніко-економічного обґрунтування використовувати дві товщини t_f у межах однієї відправної марки з різницею між ними не більше 2 мм.

Таблиця 2.7 – Рекомендовані товщини вузлових фасонів

Максимальне зусилля в опорному розкосі N , кН	До 150	80... 250	260... 400	410... 600	610... 1000	1010... 1400	1410... 1800	Понад 1800
t_f , мм	6	8	10	12	14	15	18	20

2) З метою забезпечення найбільшої технологічності конструкції необхідно уніфікувати перерізи, утримуючи кількість типорозмірів у межах 5-6 для ферм прольотом до 30 м та 7-8 – для ферм прольотом 36 м. При цьому ферми прольотами до 30 м виконують, як правило, з поясами постійного перерізу по довжині (у цьому випадку достатньо підібрати переріз один раз за максимальним зусиллям в поясі), а для ферм прольотом 36 м змінюють переріз поясів один раз. Переріз поясу, як правило, змінюють за рахунок зміни його ширини, зберігаючи товщину однаковою. Це зручно при конструктивному оформленні стику та пов'язано з розмірами зварних швів. Стиснуті опорні розкоси проектують з тих же (або близьких) профілів, що й стиснуті пояси. Проміжні розкоси (стиснуті та розтягнуті) звичайно мають 1-2 типорозміри, а стояки виконують однаковими.

3) Не слід використовувати в одній фермі профілі одного типорозміру, що відрізняються тільки товщиною чи матеріалом. Це може призвести до їх випадкової взаємозаміни в процесі виготовлення, отже й до непередбачених ситуацій при експлуатації.

4) При виборі профілів стиснутих елементів слід намагатися використовувати більш тонкі з них, в яких площа перерізу менша, а радіус інерції більший. Гнучкість таких елементів менша і матеріал елемента використовується ефективніше.

5) Із умови забезпечення необхідної жорсткості стержня при транспортуванні та монтажі висота або діаметр перерізу стержня не має бути менше 50 мм. Для зручності накладання зварних швів та запобігання перепаленню елементів мінімальна товщина прокатних профілів дорівнює 5 мм, а для труб і замкнутих

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 37

гнутозварних профілів – 3 мм (пояси, опорні розкоси) та 2,5 мм (інші елементи).

6) У фермах з труб відношення діаметрів поясів та елементів решітки має бути не більшим 3. Товщину труб беруть в межах 1/30-1/40 діаметрів поясів та до 1/90 діаметрів розкосів і стояків.

7) Розміри гнутозварних профілів для елементів решітки ферм підбирають з урахуванням забезпечення місцевої стійкості стінок перерізів. У цьому зв'язку відношення розрахункової висоти стінки, що визначається відстанню між закругленнями перерізу, до товщини не має перевищувати 45 для поясів і 60 для розкосів. Для зручності накладання зварних швів розміри елементів решітки за шириною (поза площиною ферми) мають бути не більше ніж $D - 2(t - t_d)$, де D – висота перерізу поясу; t та t_d – товщини, відповідно поясу та розкосу. Висоту перерізу розкосів d (в площині ферми) беруть не менше ніж $d \geq 0,6D$ (рис. 2.17).

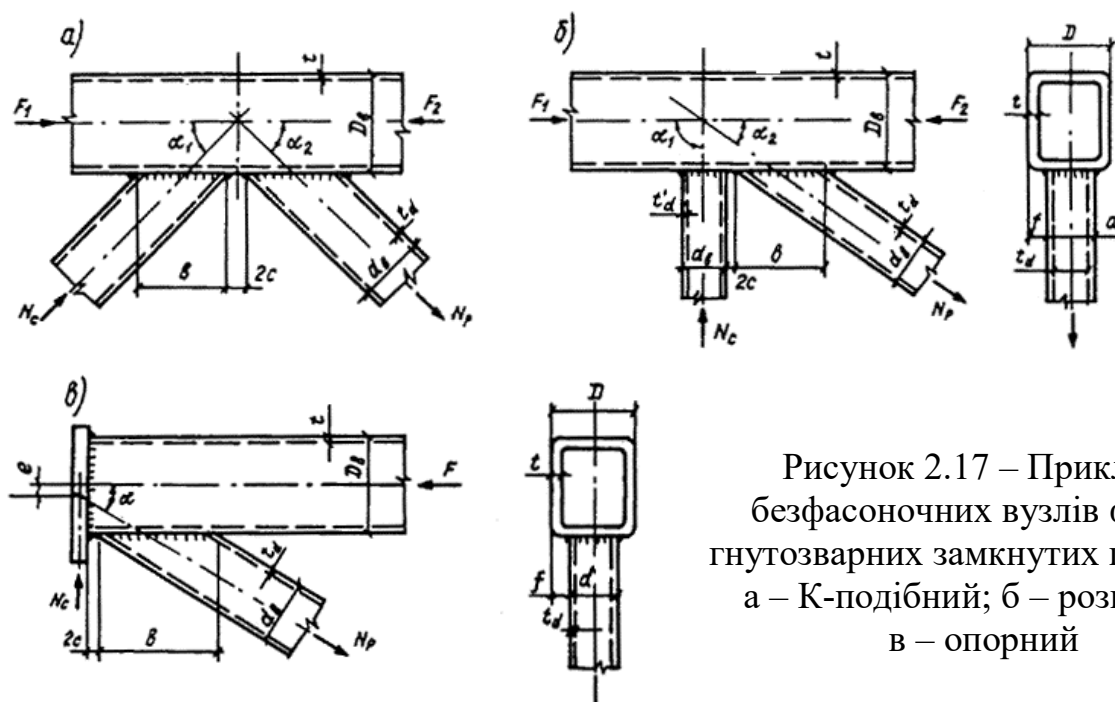


Рисунок 2.17 – Приклади безфасоночних вузлів ферм з гнутозварних замкнутих профілів:
а – К-подібний; б – розкісний;
в – опорний

8) У фермах з поясами з труб необхідно перевірити відношення висоти профілю (діаметра труби) до довжини панелі поясу: $h/l \leq 1/10$. Таке ж співвідношення встановлено й у випадку розцентрування вузлів у трубчастих та гнутозварних фермах – $e/D \leq 1/10$ (e – відстань від точки перетину осей елементів решітки до осі поясу). Якщо вказані умови не виконуються, слід виконати новий статичний розрахунок ферми як статично невизначуваної системи із жорсткими вузлами з метою визначення поздовжніх зусиль та згинальних моментів в елементах.

9) При значних зусиллях в елементах доцільно використовувати в одній конструкції різні сталі, застосовуючи більш міцну для поясів, а менш міцну – для розкосів і стояків.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 38

10) Для забезпечення спільної роботи двох кутиків, що складають тавровий переріз, їх з'єднують між собою об'єднувальними листовими планками – прокладками. Прокладки розміщують по довжині стержня на відстанях, що не повинні перевищувати $40i_1$ – для стиснутих і $80i_1$ – для розтягнутих елементів. За характеристику i_1 приймають радіус інерції одного кутика відносно власної осі, що паралельна площині прокладок (рис. 2.18). Незалежно від довжини стержня в стиснутих елементах передбачають не менше двох, а в розтягнутих – не менше однієї прокладки.

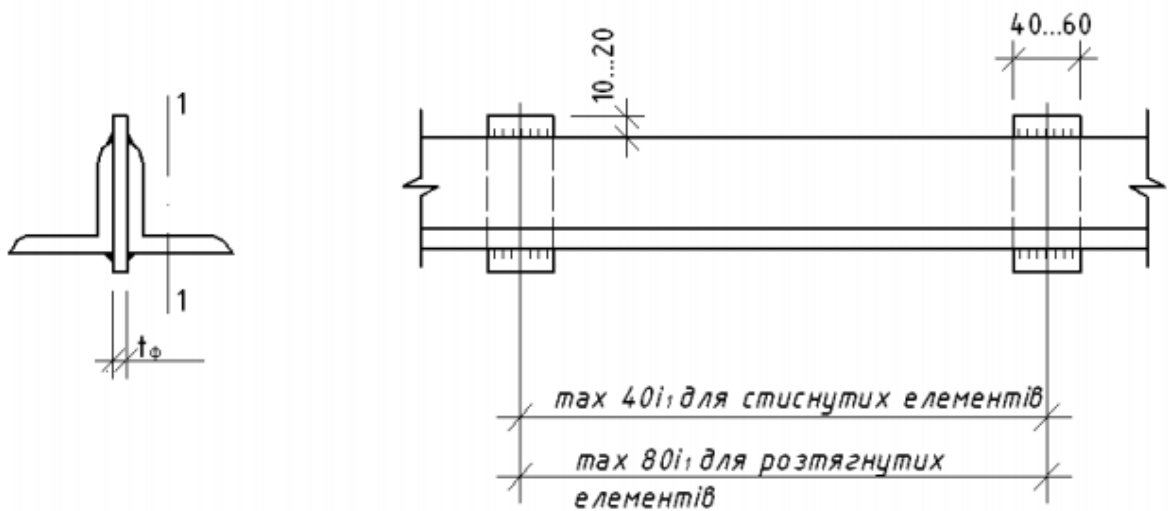


Рисунок 2.18 – Розташування прокладок в елементах складеного таврового перерізу з прокатних кутиків

Розміри прокладок визначають конструктивно за умови розміщення зварних швів, що кріплять їх до елемента. Ширина прокладок 40-60 мм, а висота на 10-20 мм більша, ніж ширина полиці кутика в кожен бік. Товщина прокладок береться однаковою з товщиною вузлових фасонки.

Методика розрахунку зварних швів та додаткові конструктивні рекомендації з конструювання вузлів ферми наведені в прикладі виконання розрахунків та конструювання вузлів ферми в п. 3.7 цих рекомендацій.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 39

3 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИРОБНИЧОГО ЦЕХУ

3.1 Вихідні дані

Вихідні дані для виконання 1-ї частини курсового проекту наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку та конструювання сталевих конструкцій

Вихідні дані для виконання частини 1 курсового проекту:	
1. Клас наслідків (відповідальності) будівлі	СС2
2. Розрахунковий термін експлуатації, років	60
3. Район будівництва	м. Житомир
4. Поперечний проліт, L, м	18,0
5. Крок колон B, м	6,0
6. Загальна кількість поздовжніх кроків колон n, шт.	8
7. Висота цеху (відмітка верху оголовку колон) H, м	6,0
8. Вид покрівлі	Профільовані металеві листи
9. Конструкція покриття (верхня)	Сендвіч-панелі
10. Варіант схеми ферми покриття (рис. 3.1)	1

Схема ферми покриття

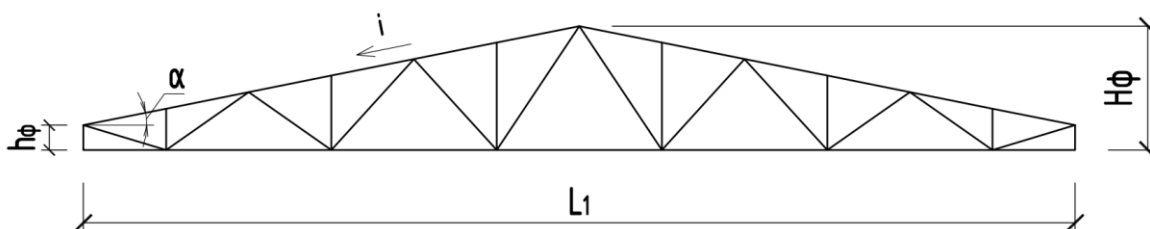


Рисунок 3.1 – Схема ферми покриття за виданим завданням на КП

Для навчальних цілей приймаємо такі вихідні дані за умовчужанням:

- ступінь агресивності виробничого середовища – неагресивне;
- розрахунки виконуються тільки для усталених розрахункових ситуацій;
- клас відповідальності конструкцій згідно з додатком А ДБН В.2.6-198

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 40

[17]: колон та ферм – А; прогонів – Б.

для визначення класу сталі конструкцій в таблиці 3.2 на підставі розрахунку згідно з додатком А [17] прийнято попередньо група конструкцій

Таблиця 3.2 – Визначення групи металевих конструкцій

Чинник	Характеристика	Показник балів	Примітка
Клас відповідальності	СС2	$S_1 = 0$	
Категорія за призначенням (клас відповідальності)	А	$S_2 = 11$	Ферма, колони
	Б	$S_2 = 4$	Прогони
Категорія за напруженим станом	II	$S_3 = 5$	Ферми і прогони
	III	$S_3 = 1$	Колони
Наявність розтягувальних напружень	Є	$S_4 = 7$	
Несприятливий вплив зварних з'єднань	Є	$S_5 = 6$	Ферма, колони
	Немає	$S_5 = 2$	Прогони
$S_{tot} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 =$		29 25 18	для ферм для колон для прогонів

У відповідності до розрахунку в таблиці 3.2 та критерію S_{tot} згідно з додатком А ДБН В.2.6-198 [17] металеві конструкції цеху можна віднести до групи конструкцій: ферми – група 1 ($S_{tot} > 26$); колони – група 2 ($23 \leq S_{tot} \leq 26$); прогони – група 4 ($S_{tot} \leq 18$).

Приймаємо згідно з вимогами таблиць додатку Г [17] та нормативними документами (НД) на металопрокат матеріали для проектування металевих конструкцій каркасу згідно з таблицею 3.3.

Таблиця 3.3 – Матеріали для виготовлення конструкцій

Матеріали для виготовлення	Клас сталі (НД)	Марка сталі (НД)
Для виготовлення ферм (1 група конструкцій)		
Кутики сталеві рівнополічні за сортаментом згідно з ДСТУ 2251	C255 (ДСТУ 8539)	Ст5сп5 (ДСТУ 2651)
Прокат листовий горячекатаний за сортаментом згідно з ДСТУ 8540	C255 (ДСТУ 8539)	Ст5сп5 (ДСТУ 8803)
Для виготовлення колон (2 група конструкцій)		
Широкополічні двотаврові балки (НЕ) розмірами за ДСТУ EN 10365	C275 (ДСТУ 8539)	S275GR ДСТУ EN 10025-2
Для виготовлення прогонів (4 група конструкцій)		
Швелери сталеві горячекатані за сортаментом згідно з ДСТУ 3436	C235 (ДСТУ 8539)	Ст3кп (ДСТУ 2651)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 41

Приймаємо, що всі заводські зварювальні шви виконуються напівавтоматичним зварюванням під флюсом із застосуванням зварювального дроту марки СВ-08А (ДСТУ ISO 544). Для виконання монтажних зварювальних швів застосовується ручне зварювання електродами Е42А або їх сучасні аналоги [17, табл. Д.1]. У виробничому цеху відсутнє підвісні або мостові крани тому конструкції каркасу не зазнають динамічних навантажень від технологічного обладнання.

3.2. Компонування каркасу будівлі

Виконуємо комплектування каркасу будівлі згідно з вихідними даними (рис. 3.2, 3.3). Ухил покриття приймаємо 20 % із умови забезпечення водовідведення з даху з покрівлею із сендвіч-панелей згідно з вимогами ДБН В.2.6-220 [10, с. 21]. Приймаємо огорожуючі конструкції даху та стін цеху з сендвіч-панелей з утеплювачем із поліізоціанурата (PIR) товщиною 100 мм згідно з каталогом [8], що відповідає вимогам з енергозбереження для м. Житомира (див. табл. 2.3). Попередньо для розрахунків навантажень приймаємо прогони з прокатних швелерів №16 згідно з ДСТУ 3436.

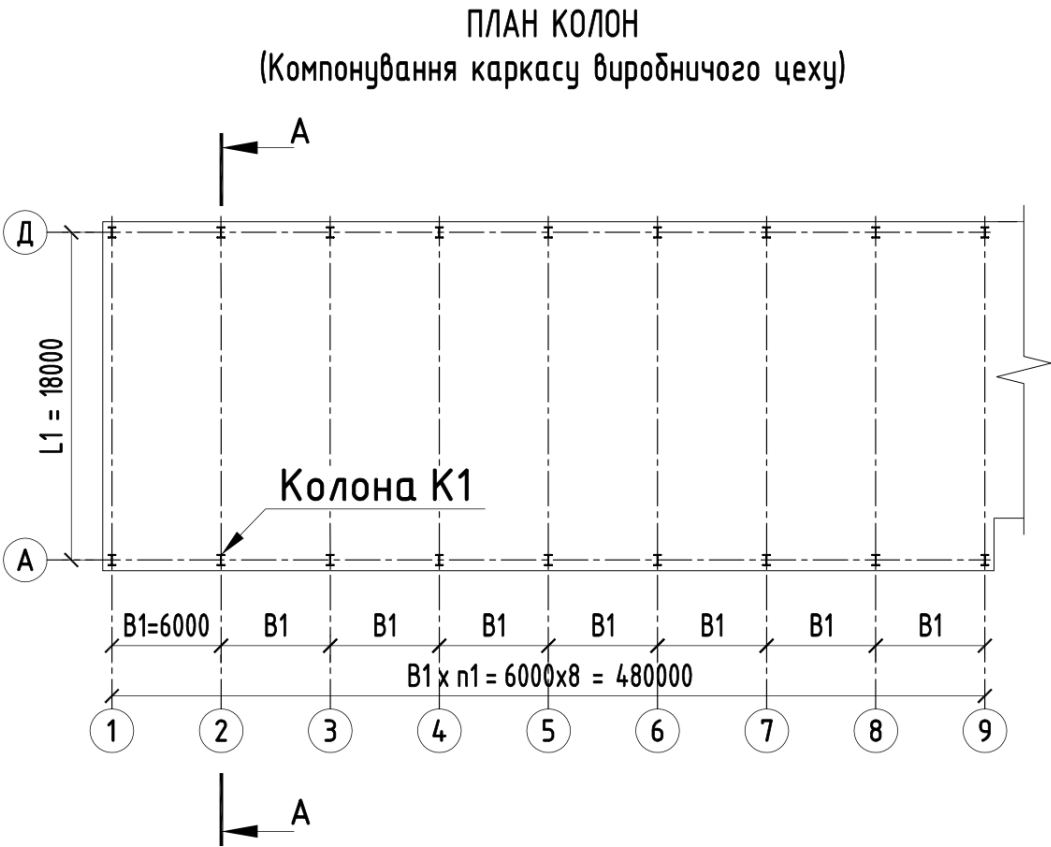


Рисунок 3.2 – Компонування плану колон каркасу виробничого цеху

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 42

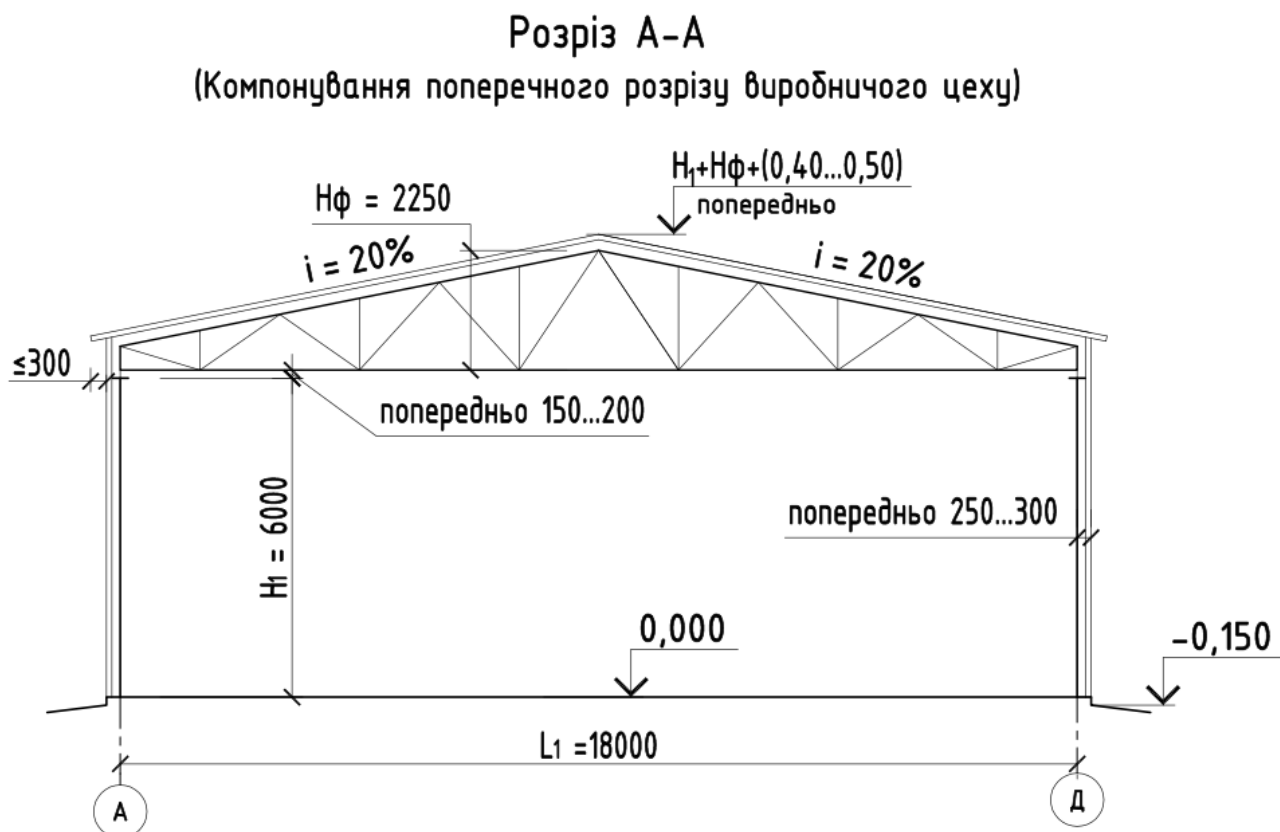


Рисунок 3.3 – Компонування поперечного розрізу (рами) каркасу виробничого цеху

3.3 Збір навантажень на конструкції поперечної рами каркасу будівлі

Навантаження на конструкції поперечної рами визначаємо у відповідності до вимог ДБН В.1.2-2 [15]. Район будівництва об'єкта, яким є територія м. Житомир, згідно з вимогами ДБН В.1.2-2 характеризується такими значеннями природно-кліматичних навантажень:

- характеристичне значення снігового навантаження $S_0 = 1460$ Па [15, дод. Е];
- характеристичне значення вітрового навантаження $W_0 = 460$ Па [15, дод. Е].

Постійні навантаження. Розрахунок від власної ваги огорожуючих конструкцій покриття виконуємо в таблиці 3.4. Навантаження від власної ваги ферми та колон поперечної рами будівлі будемо враховувати в автоматизованому вигляді засобами ПК «Ліра-САПР».

Тимчасові навантаження. На конструкції будівлі під час експлуатації діють снігові та вітрові тимчасові навантаження.

Значення снігового навантаження на покриття цеху визначаємо згідно з вимогами розділу 8 ДБН В.1.2-2 та схеми 1 у додатку Ж [15]. За цією схемою коефіцієнт переходу до снігового навантаження на покритті будівлі дорівнює $\mu = 1,0$ для кута нахилу покриття $\alpha \leq 25^\circ$. За таблицями 8.1 та 8.3 [15] для об'єктів масового будівництва з розрахунковим строком експлуатації $T = 60$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 43

років коефіцієнти надійності снігового навантаження відповідно дорівнюють $\gamma_{fe} = 0,49$, $\gamma_{fm} = 1,04$. Визначаємо розрахункові значення розподіленого снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття будівлі:

- граничне значення

$$S_m = \gamma_{fm} S_0 C = 1,04 \cdot 1460 \cdot 1 = 1518 \text{ Па} = 1,52 \text{ кН/м}^2;$$

- експлуатаційне

$$S_m = \gamma_{fe} S_0 C = 0,49 \cdot 1460 \cdot 1 = 715 \text{ Па} = 0,72 \text{ кН/м}^2,$$

де $C = \mu C_e C_{alt} = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$ згідно з п. 8.6 [15].

Визначаємо тривалу частку (квазіпостійне значення) снігового навантаження за формулою 8.3 [15, с. 14]:

$$S_p = (0,4 S_0 - \bar{S}) C = (0,4 \cdot 1460 - 160) \cdot 1 = 424 \text{ Па} = 0,43 \text{ кН/м}^2.$$

Розрахунок постійних розподілених навантажень на покриття будівлі, які за природою є гравітаційними наведений у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Розподілене навантаження на 1 м^2 горизонтальної проекції покриття цеху, кН/м^2

№ п/п	Найменування навантаження	Характеристичне значення	Коефіцієнт надійності за навантаження м		Розрахункове значення навантаження	
			γ_{fe}	γ_{fm}	Експлуатаційне	Граничне
	А) Постійні:					
1	Від власної ваги сендвіч-панелей з утеплювачем з мінеральної вати: ($q = 11,6 \text{ кг/м}^2$; $q_0 = q \cdot g / \cos \alpha$)	0,114	1,0	1,2	0,114	0,137
2	Від власної ваги металевих прогонів попередньо з швелерів №16 ($q = 14,2 \text{ кг/м}$; $q_0 = q \cdot g / b$, де $b = 1,5 \text{ м}$ крок прогонів)	0,093	1,0	1,05	0,093	0,098
	Разом постійні	—	—	—	0,207	0,235
	Б) Тимчасові:					
3	Снігове	1,46	0,49	1,04	0,72	1,52
	Всього	—	—	—	0,93	1,76

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 44

Вітрові навантаження передаються на конструкції будівлі у вигляді нормального тиску на поверхню або від'ємного тиску від поверхні (відсосу) на поверхнях будівлі біля яких утворюються зони розрідженого повітря. Значення тиску визначаємо згідно з вимогами розділу 9 та додатку І ДБН В.1.2-2 [15].

Аеродинамічні коефіцієнти C_{aer} дії вітрового навантаження на огорожуючі конструкції будівлі визначаємо згідно з схемою 2 [15, с. 49] в залежності від геометричних параметрів виробничого цеху:

$$\alpha = \tan^{-1}(i) = \tan^{-1}(0,2) = 11,3^\circ; b/l = 48,5/18,5 = 2,6; h/l = 7,0/18,5 = 0,38.$$

Розраховані аеродинамічні коефіцієнти показані на рисунку 3.4. Знак «+» біля значення коефіцієнта вказує на нормальний тиск вітру на поверхню, а знак «-» вказує що тиск вітру здійснюється від поверхні біля яких виникають зони з розрідженим повітрям.

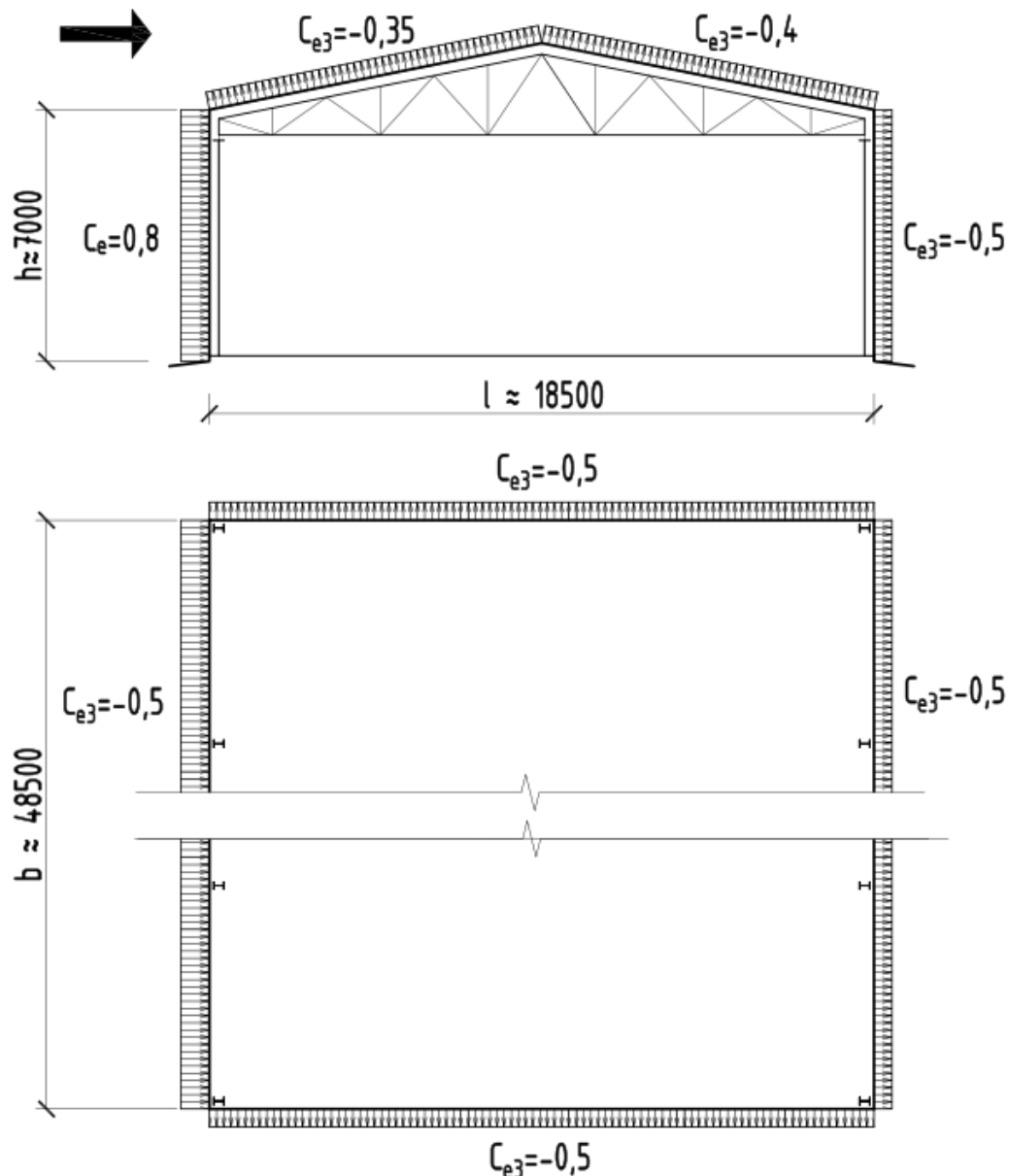


Рисунок 3.4 – Розрахункові значення аеродинамічних коефіцієнтів C_{aer}

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 45

Коефіцієнти C_h , якими враховується розподіл тиску вітру по висоті будівлі, визначаємо в залежності від прийнятого типу місцевості згідно з таблицею 9.02 [15, зміна 1]. Тип місцевості приймаємо III як для приміських територій м. Житомир, на яких відсутня забудова висотою більше 15м. Коефіцієнти висоти будуть дорівнювати: $C_h (z \leq 5 \text{ м}) = 0,9$; $C_h (z = h \approx 7 \text{ м}) = 1,02$; для середньої відмітки покриття $C_h (z \approx 7,9 \text{ м}) = 1,08$. Будівля розташована на рівнинній місцевості, тому коефіцієнти C_{alt} , C_{rel} і C_{dir} приймаємо рівними одиниці [15, п. 9.10-9.12]. Коефіцієнт динамічності $C_d = 0,95$ – як для будівель з сталевим каркасом [15, рис. 9.6].

Розрахункові значення вітрових навантажень на поверхні огорожуючих конструкцій цеху визначають за формулами [15, формули 9.1-9.3]:

- граничне

$$W_m = \gamma_{fm} W_0 C;$$

- експлуатаційне

$$W_e = \gamma_{fe} W_0 C,$$

де коефіцієнт $C = C_{aer} C_h C_{alt} C_{rel} C_{dir} C_d$. У випадку якщо $C_{alt} C_{rel} C_{dir} = 1$ коефіцієнт C буде дорівнювати $C = C_{aer} C_h C_d$. Подальший розрахунок значень вітрового навантаження наведений у таблиці 3.5. Розподіл вітрового тиску на поверхнях огорожуючих конструкцій показаний на схемі на рисунку 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахунок значень вітрових навантажень

Огорожуюча конструкцій	Розрахунок коефіцієнта $C = C_{aer} C_h C_d$ ($C_{alt} C_{rel} C_{dir} = 1$)	Розрахункове значення навантаження, кН/м ²	
		Експлуатаційне	Граничне
1) Вітрове навантаження на поверхню стіни (знак «+»): - для $z \leq 5 \text{ м}$; - для $z = 7 \text{ м}$	$C = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 0,69$ $C = 0,8 \cdot 1,02 \cdot 0,95 = 0,76$	0,067 0,073	0,330 0,364
2) Вітрове навантаження від поверхні стіни (знак «-»): - для $z \leq 5 \text{ м}$; - для $z = 7 \text{ м}$	$C = 0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 0,43$ $C = 0,5 \cdot 1,02 \cdot 0,95 = 0,49$	0,042 0,048	0,206 0,235
3) Вітрове навантаження від поверхні покриття (знак «-»): - якщо $C_{aer} = -0,35$; - якщо $C_{aer} = -0,40$	$C = 0,35 \cdot 1,08 \cdot 0,95 = 0,36$ $C = 0,4 \cdot 1,08 \cdot 0,95 = 0,41$	0,035 0,040	0,173 0,197

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 46

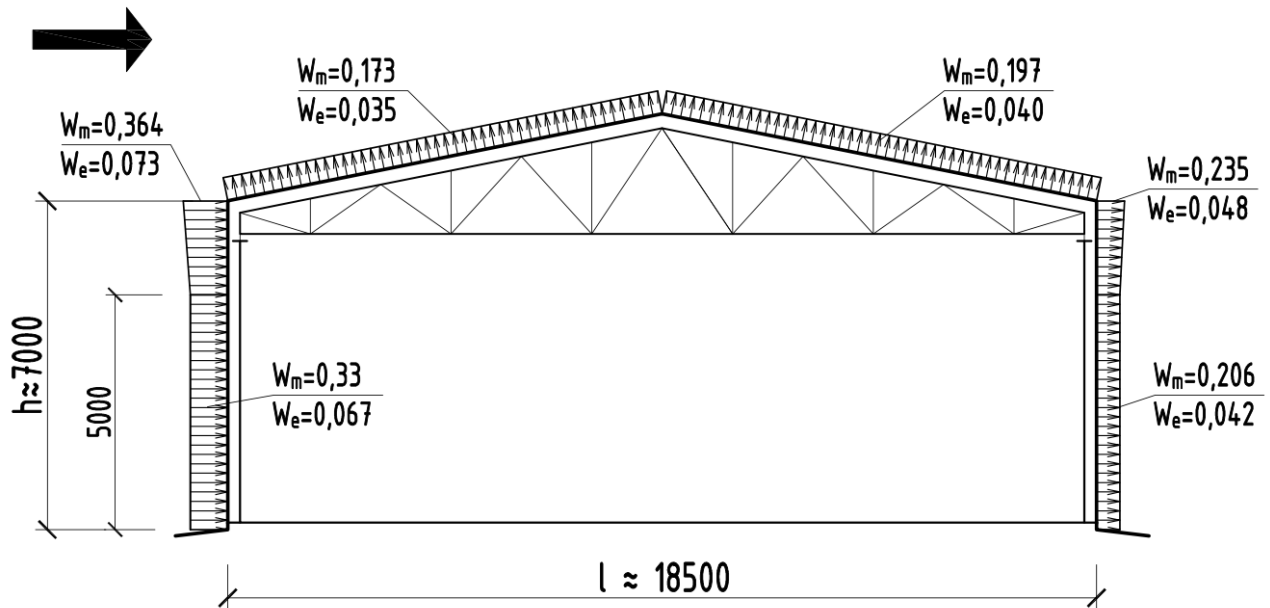


Рисунок 3.5 – Розподіл вітрового тиску на огороджуючі конструкції цеху (кН/м²)

3.4 Підготовка даних для статичного розрахунку поперечної рами засобами ПК «Ліра-САПР»

Розрахунок зусиль в елементах поперечної рами будемо виконувати за допомогою програмного комплексу (ПК) «Ліра-САПР», який дозволяє виконувати розрахунки складних конструктивних систем з використанням методу кінцевих елементів. Для цього розрахунку необхідно скласти розрахункову схему поперечної рами з розрахунком компонентів навантажень на її елементи. Розрахункова схема поперечної рами складається з шарнірно-стрижневої системи металевої ферми, яка центрально обпирається на верхівки або оголовки стержнів колон. Стержні колон у нижніх базових вузлах жорстко з'єднуються з фундаментами. Розрахункова схема поперечної рами виробничого цеху та схеми її навантажень наведені на рисунках 3.6 і 3.7.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 47

Схема навантаження 1. Постійні навантаження

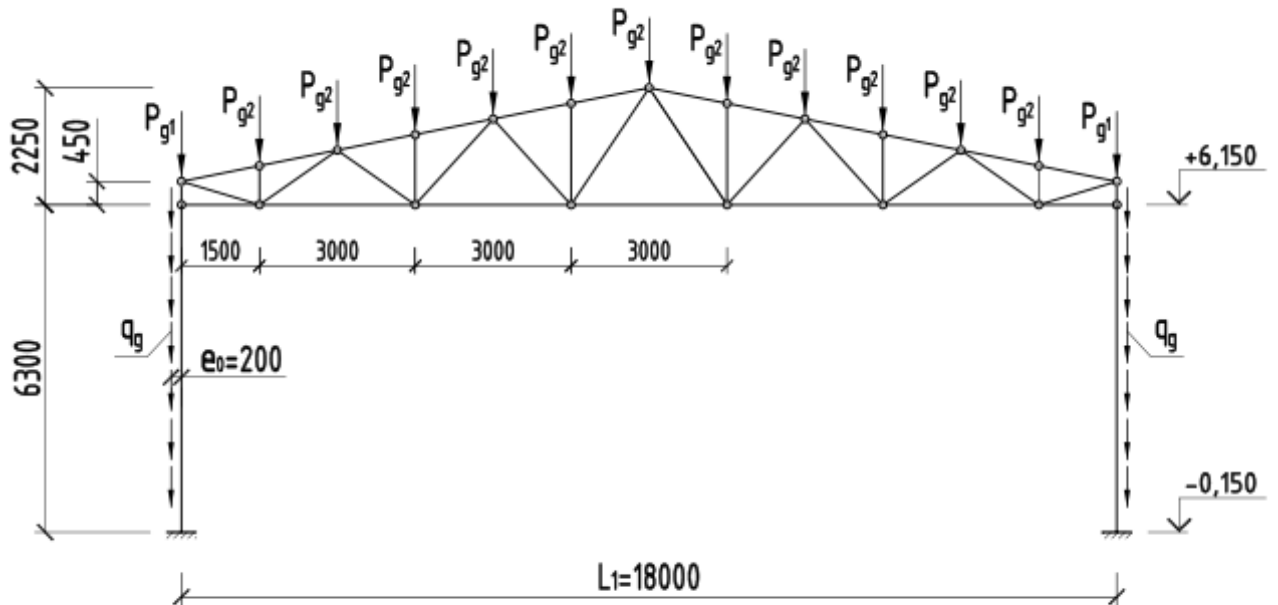


Схема навантаження 2. Снігове навантаження

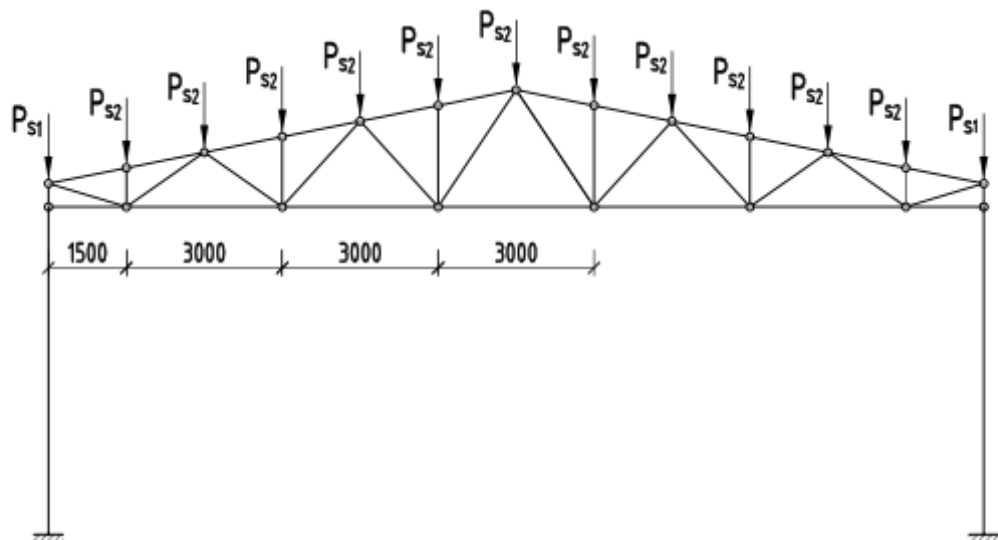


Рисунок 3.6 – Схеми навантажень поперечної рами №1 і №2

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 48

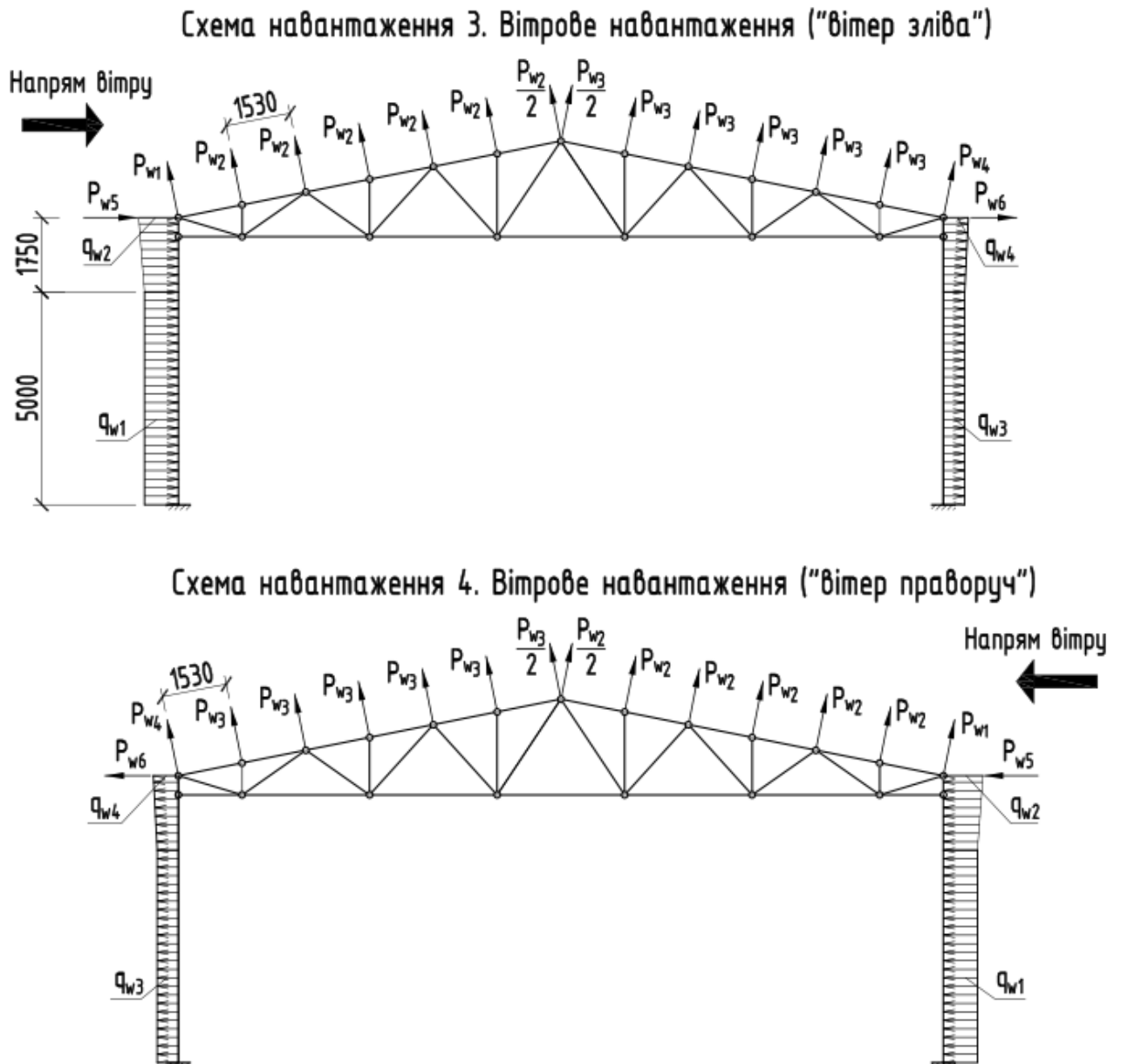


Рисунок 3.7 – Схеми вітрових навантажень №3 і №4

Компоненти навантажень визначаємо на середню поперечну раму, на яку передаються навантаження від огорожуючих конструкцій з вантажної площі шириною $B_1 = 6,0$ м. При розрахунках навантажень на верхні вузли ферми від прогонів враховуємо крок прогонів, площу влаштування карнизів, а для вітрових навантажень крок прогонів вздовж скату покриття. В розрахунках використовуємо розрахункові значення розподілених навантажень по площі огорожуючих конструкцій, які визначені в таблицях 3.4, 3.5. Подальші розрахунки виконуємо в табличному вигляді (табл. 3.6).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 49

Таблиця 3.6 – Розрахунок компонентів навантажень на поперечну раму цеху

Компоненти (найменування) навантаження	Розрахункове значення навантаження		Примітка (одиниці)
	Розрахунок	Граничне Експлуат.	
Схема навантаження 1. Постійні навантаження			
1) Постійні навантаження від власної ваги металевих елементів розрахункової схеми (ферми та колон) враховуємо засобами ПК «Ліра-САПР» в автоматизованому режимі по заданим жорсткостям перерізів.			
2) Від власної ваги панелей покриття та прогонів	$P_{g1}^m = 0,235 \left(0,5 + \frac{1,5}{2} \right) \cdot 6 =$ $P_{g1}^e = 0,207 \left(0,5 + \frac{1,5}{2} \right) \cdot 6 =$	$\frac{1,76}{1,55}$	кН
	$P_{g2}^m = 0,235 \cdot 1,5 \cdot 6 =$ $P_{g2}^e = 0,207 \cdot 1,5 \cdot 6 =$	$\frac{2,12}{1,86}$	
3) Від власної ваги стінових панелей	$q_g^m = 0,235 \cdot 6 =$ $q_g^e = 0,207 \cdot 6 =$	$\frac{1,41}{1,24}$	кН/м
Схема навантаження 2. Снігове навантаження			
1) Частки снігових навантажень, які передаються від прогонів на верхні вузли ферми покриття	$P_{s1}^m = 1,52 \left(0,5 + \frac{1,5}{2} \right) \cdot 6 =$ $P_{s1}^e = 0,72 \left(0,5 + \frac{1,5}{2} \right) \cdot 6 =$	$\frac{11,40}{5,40}$	кН
	$P_{s2}^m = 1,52 \cdot 1,5 \cdot 6 =$ $P_{s2}^e = 0,72 \cdot 1,5 \cdot 6 =$	$\frac{13,68}{6,48}$	
Схеми навантаження 3 і 4. Вітрові навантаження			
1) Вітрові навантаження на поперечну раму від тиску на стінові конструкції	$q_{w1}^m = 0,33 \cdot 6 =$ $q_{w1}^e = 0,067 \cdot 6 =$	$\frac{1,98}{0,41}$	кН/м
	$q_{w2}^m = 0,364 \cdot 6 =$ $q_{w2}^e = 0,073 \cdot 6 =$	$\frac{2,19}{0,44}$	
	$q_{w3}^m = 0,206 \cdot 6 =$ $q_{w3}^e = 0,042 \cdot 6 =$	$\frac{1,24}{0,26}$	
	$q_{w4}^m = 0,235 \cdot 6 =$ $q_{w4}^e = 0,048 \cdot 6 =$	$\frac{1,41}{0,29}$	
2) Частки вітрових навантажень від стінових панелей вище верхнього вузла ферми	$P_{w5}^m = 2,19 \cdot 0,25 =$ $P_{w5}^e = 0,44 \cdot 0,25 =$	$\frac{0,55}{0,11}$	кН
	$P_{w6}^m = 1,41 \cdot 0,25 =$ $P_{w6}^e = 0,29 \cdot 0,25 =$	$\frac{0,36}{0,08}$	

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 50

Продовження таблиці 3.6

Компоненти (найменування) навантаження	Розрахункове значення навантаження		Примітка (одиниці)
	Розрахунок	Граничне Експлуат.	
3) Частки вітрових навантажень, які передаються від прогонів на верхні вузли ферми покриття	$P_{w1}^m = 0,173 \left(0,5 + \frac{1,53}{2} \right) \cdot 6 =$ $P_{w1}^e = 0,035 \left(0,5 + \frac{1,53}{2} \right) \cdot 6 =$	<u>1,32</u> 0,27	кН
	$P_{w2}^m = 0,173 \cdot 1,53 \cdot 6 =$ $P_{w2}^e = 0,035 \cdot 1,53 \cdot 6 =$	<u>1,59</u> 0,33	
	$P_{w3}^m = 0,197 \cdot 1,53 \cdot 6 =$ $P_{w3}^e = 0,04 \cdot 1,53 \cdot 6 =$	<u>1,81</u> 0,37	
	$P_{w4}^m = 0,197 \left(0,5 + \frac{1,53}{2} \right) \cdot 6 =$ $P_{w4}^e = 0,04 \left(0,5 + \frac{1,53}{2} \right) \cdot 6 =$	<u>1,50</u> 0,31	

При складанні розрахункової моделі поперечної рами в ПК «Ліра-САПР» необхідно виконати аналіз реальних варіантів одночасної дії різних навантажень і визначити найбільш несприятливі їх сполучення. У таблиці 3.7 наведені можливі сполучення дії навантажень під час експлуатації будівлі. При цьому замість одного постійного навантаження враховане два навантаження з різними розрахунковими значеннями постійних навантажень, що відповідають прийнятим зменшеним ($\gamma_f < 1$) і збільшеним ($\gamma_f > 1$) коефіцієнтам надійності згідно з вимогами ДБН В.1.2-2.

Таблиця 3.7 – Розрахункові сполучення навантажень

Навантаження	Номер сполучення				
	1	2	3	4	5
1. Постійні ($\gamma_f < 1$)	–	+	+	–	–
2. Постійні ($\gamma_f > 1$)	+	–	–	+	+
3. Снігові навантаження	+	–	–	+	+
4. Вітрове навантаження «вітер зліва»	–	+	–	+	–
5. Вітрове навантаження «вітер праворуч»	–	–	+	–	+

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 51

Попередньо найбільш несприятливим сполученням навантажень для розрахунку елементів ферми є сполучення навантажень №1 («постійні + снігові»), коли на поперечну раму діють найбільші вертикальні навантаження. Для розрахунку елементів колон найбільш несприятливими сполученнями навантажень можуть бути як навантаження №2 і №3 («постійні занижені + вітрові») так і навантаження №4 і №5 («постійні + снігові + вітрові»).

3.5 Результати статичного розрахунку поперечної рами засобами ПК «Ліра-САПР»

Створюємо розрахункову модель поперечної рами в ПК «Ліра-САПР» і в автоматизованому режимі виконуємо розрахунок зусиль в елементах поперечної рами від усіх розглянутих навантажень (див. п. 3.4).

На рисунку 3.8 показана розрахункова модель поперечної рами з нумерацією її елементів. На рисунках 3.9-3.11 представлені вибіркові результати розрахунку зусиль в елементах поперечної рами від основних навантажень.

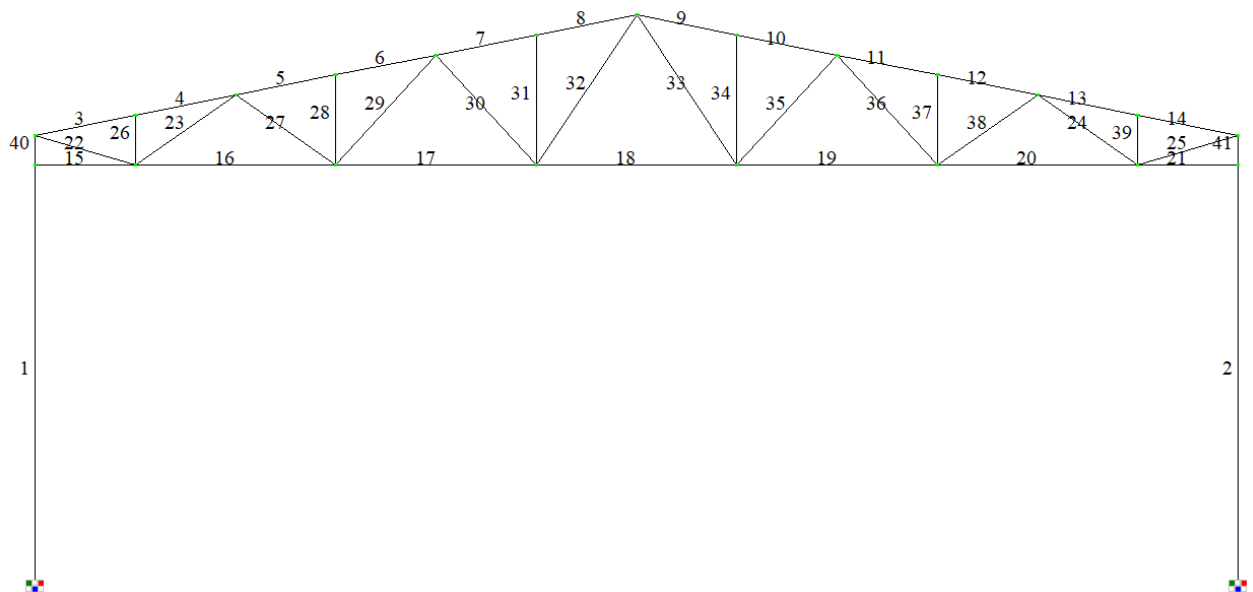


Рисунок 3.8 – Розрахункова модель поперечної рами з нумерацією елементів

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 52

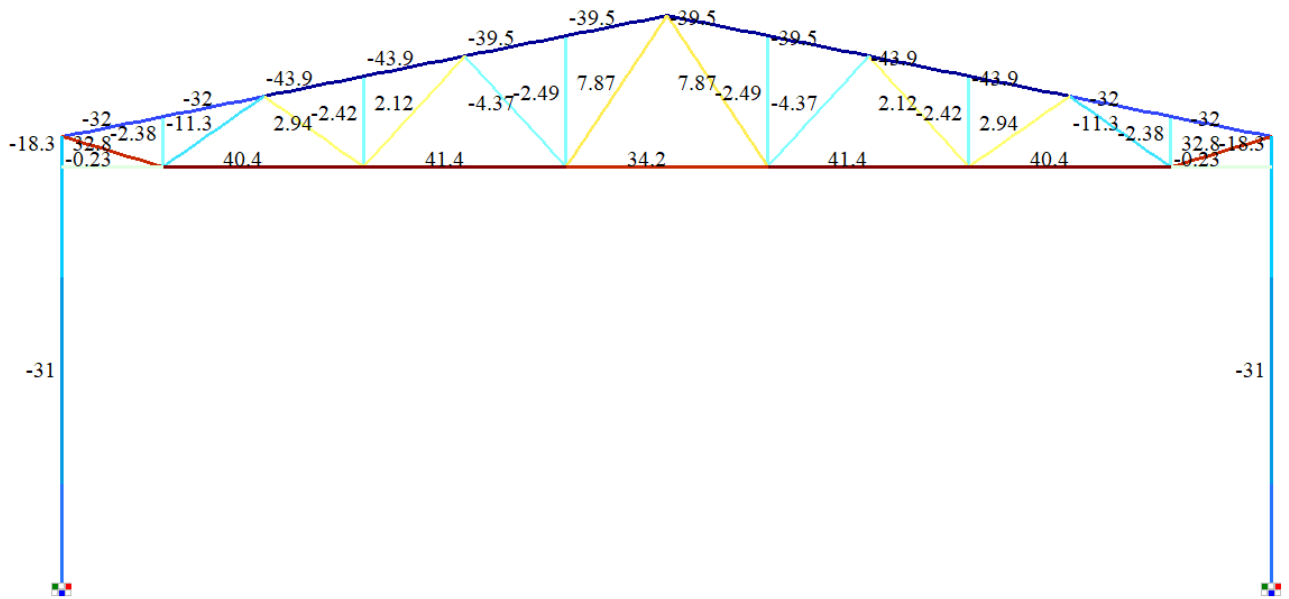


Рисунок 3.9 – Розрахункові значення поздовжніх сил N (кН) від дії схеми навантаження №1, що включає постійні навантаження з граничними значеннями

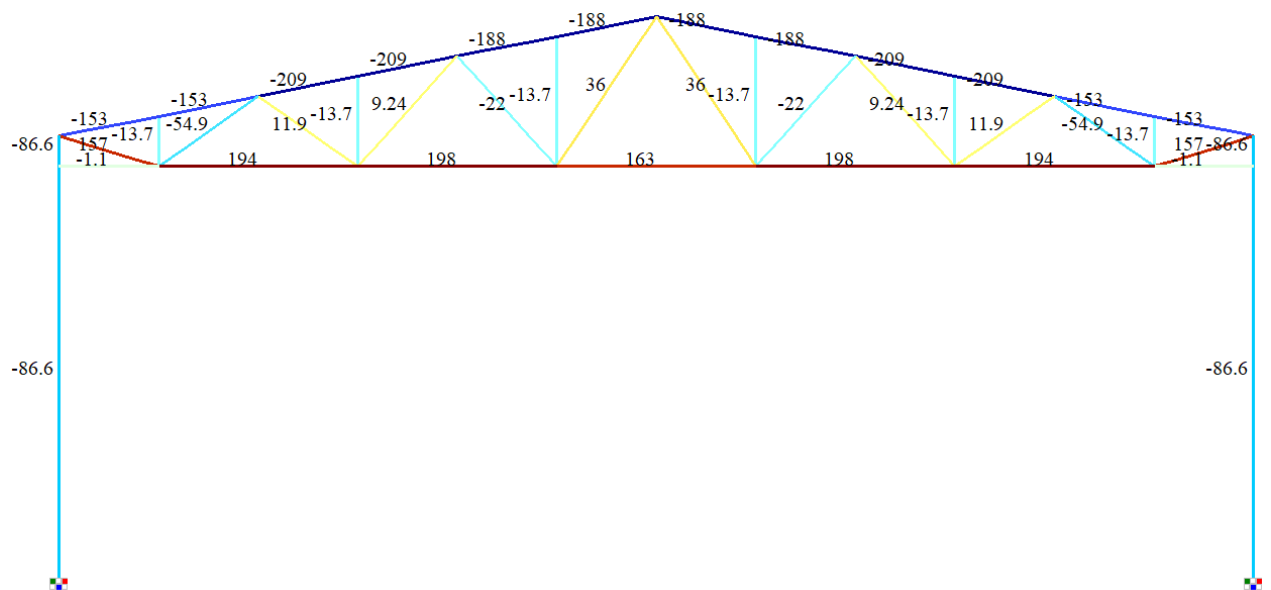


Рисунок 3.10 – Розрахункові значення поздовжніх сил N (кН) від дії схеми навантаження №2, що включає снігові навантаження з граничними значеннями

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 53

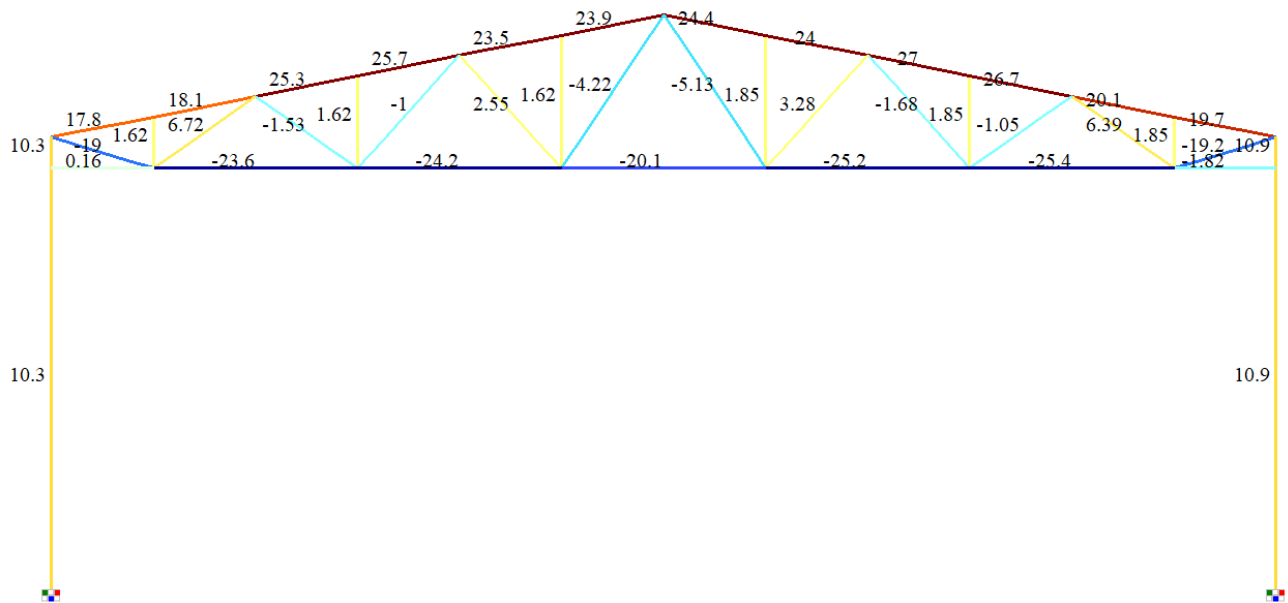


Рисунок 3.11 – Розрахункові значення поздовжніх сил N (кН) від дії схеми навантаження №3, що включає вітрові навантаження з граничними значеннями (напрямок – «зліва»)

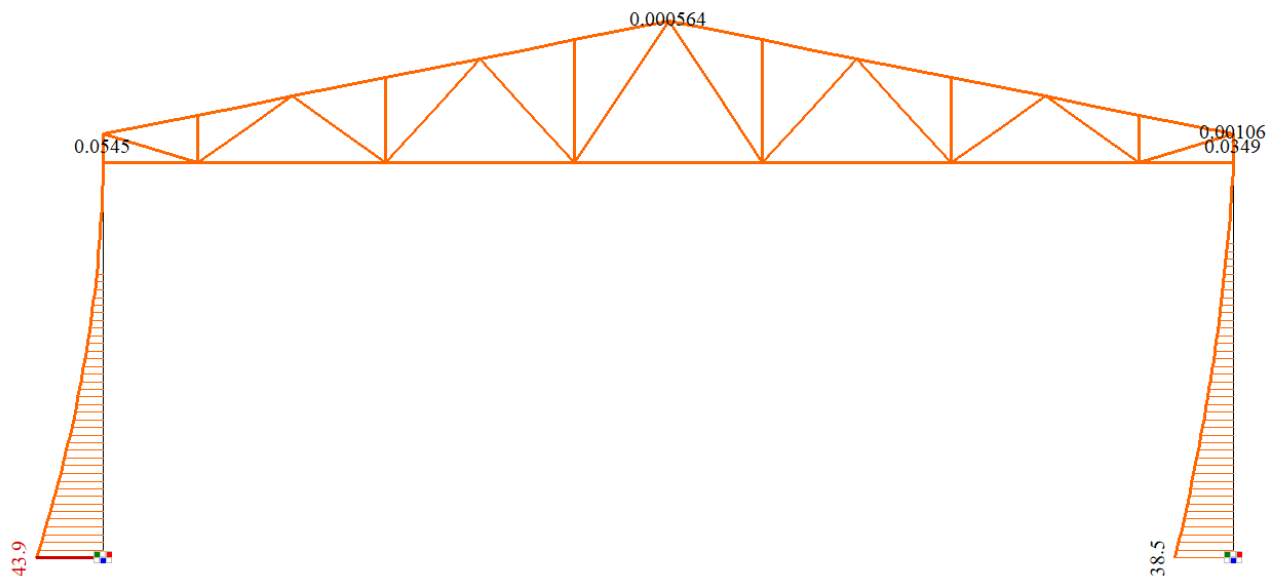


Рисунок 3.12 – Розрахункові значення згинальних моментів M (кН) від дії схеми навантаження №3, що включає вітрові навантаження з граничними значеннями (напрямок – «зліва»)

ПК «Ліра-САПР» дозволяє завдяки застосуванню принципу суперпозиції зусиль виконати розрахунок зусиль від можливих сполучень навантажень. З отриманих масивів даних зусиль від дії сполучень навантажень програма формує вибірку найбільш несприятливих їх комбінацій для всіх розрахункових перерізів поперечної рами. Ця вибірка у вигляді таблиці «Розрахункові сполучення зусиль (РСЗ)» є результатом статичного розрахунку поперечної

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 54

рами. Також ПК «Ліра-САПР» дозволяє отримати розрахункові сполучення зусиль і в графічному вигляді. У таблиці 3.8 наведені найбільш несприятливі розрахункові сполучення зусиль (РСЗ) в елементах поперечної рами за результатами виконаного статичного розрахунку.

Таблиця 3.8 – Розрахункові сполучення зусиль в елементах поперечної рами

Номер елемента (див. рис. 3.8)	Номер перерізу	Розрахункові зусилля			Сполучення навантажень	Примітка
		N , кН	M_y , кН·м	Q_z , кН		
3	2	-185,5	0	0	2 3	Верхній пояс ферми
4	2	-185,5	0	0	2 3	
5	2	-253,15	0	0	2 3	
6	2	-253,15	0	0	2 3	
7	2	-227,34	0	0	2 3	
8	2	-227,34	0	0	2 3	
15	2	-2,86	0	0	2 3 5	Нижній пояс ферми
16	2	234,73	0	0	2 3	
17	2	239,28	0	0	2 3	
18	2	197,26	0	0	2 3	
22	2	189,89	0	0	2 3	Елементи решітки ферми
23	2	-66,20	0	0	2 3	
26	2	-16,06	0	0	2 3	
27	2	14,87	0	0	2 3	
28	2	-16,06	0	0	2 3	
29	2	11,36	0	0	2 3	
30	2	-26,42	0	0	2 3	
31	2	-16,18	0	0	2 3	
32	2	43,92	0	0	2 3	
40	2	-104,97	0	0	2 3	
1	1	-15,16	42,69	-13,02	1 4	Колона (опорний вузол колони – база)
1	1	-99,23	-42,29	10,24	2 3 5	
1	1	-14,57	-39,64	10,21	1 5	
1	1	-20,76	42,43	-12,98	2 4	
1	1	-20,17	-39,90	10,25	2 5	
1	1	-117,65	-8,38	1,33	2 3	

Примітка. В таблиці наведені РСЗ для елементів лівої половини розрахункової схеми з врахуванням її дзеркальної симетрії.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 55

3.6 Підбір перерізів елементів ферми

Згідно з вихідними даними (див. табл. 3.1, 3.2) для класу (наслідків) відповідальності будівлі СС2 класу відповідальності конструкції ферми А. Для цих параметрів коефіцієнт надійності відповідальності при розрахунку за 1-ю групою граничних станів для усталених розрахункових ситуацій $\gamma_n = 1,1$ [19, табл. 5].

Проектування ферми виконуємо з елементами складеного таврового перерізу із парних рівнополичних кутиків, що входять у номенклатуру доступного в Україні сталевих прокату. Приймаємо з вимог уніфікації для ферми прольотом 18 м не більше 5-и типорозмірів перерізів на всю ферму (по одному на кожний пояс і 2-3 типорозміри на елементи решітки). В елементах решітки зусилля не перевищують 190 кН тому згідно з рекомендаціями таблиці 2.7 приймаємо товщину вузлових фасонів і значення зазорів між парними кутками $t_{\phi} = 8$ мм. Розрахунки виконуємо з врахуванням рекомендації, що фактичні значення гнучкості елементів ферми не можуть перевищувати граничних значень гнучкості [17, пп.13.4.1]: $[\lambda] = 200$ – для стиснутих елементів; $[\lambda] = 400$ – для розтягнутих елементів.

Необхідні характеристики матеріалу конструкції ферми – сталі класу С255: характеристичний опір сталі за границею текучості (σ_T) для прокату фасонного товщиною 4...10мм $R_{yn} = \sigma_T = 255$ МПа, для листового товщиною 4-10 мм та фасонного прокату товщиною 10,1...20 мм $R_{yn} = \sigma_T = 245$ МПа [18, табл. 4, 5]; характеристичний опір сталі за тимчасовим опором (σ_B) для прокату фасонного товщиною 4...10мм $R_{un} = 380$ МПа, для листового товщиною 4-10 мм та фасонного прокату товщиною 10,1...20 мм $R_{un} = 370$ МПа [18, табл. 4, 5]; коефіцієнт надійності за матеріалом $\gamma_m = 1,025$ [17, табл. 7.2] для сталей згідно з вимогами ДСТУ 8539 [18]; модуль пружності прокатної сталі $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа, густина прокату $\rho = 7850$ кг/м³ [17, табл. Б.1]. Розрахунковий опір сталі за границею текучості:

- фасонного прокату товщиною 4...10 мм

$$R_y = R_{yn} / \gamma_m = 255 / 1,025 = 248,8 \text{ МПа};$$

- листового прокату товщиною 4...10 мм та фасонного товщиною 10,1...20 мм

$$R_y = R_{yn} / \gamma_m = 245 / 1,025 = 239,0 \text{ МПа}.$$

Для спрощення розрахунків з навчальною метою приймаємо для розрахунку єдине значення розрахункового опору сталі $R_y = 239,0$ МПа (найменше в сторону запасу надійності). З врахуванням дзеркальної симетрії геометричної схеми ферми під час підбору перерізів елементів ферми умовно розглядаємо половину ферми у відповідності до даних таблиці 3.8.

Під час розрахунків елементів ферми для позначення параметрів приймаємо, що ферма розташована в площині ХОZ у відповідності до розрахункової схеми в ПК «Ліра-САПР». Типова схема перерізу елемента ферми з

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 56

позначенням місцевих осей показана на рисунку 3.13.

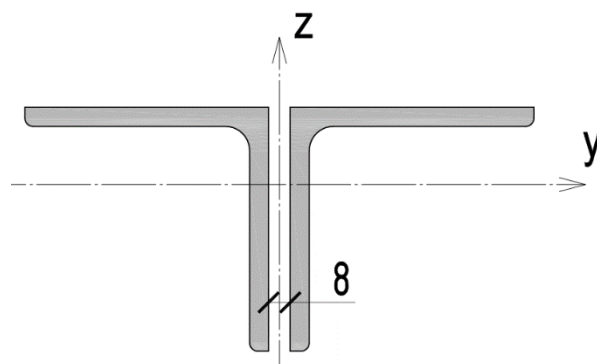


Рисунок 3.13 – Схема перерізу елементів ферми з парних рівнополичних кутиків

3.6.1 Верхній пояс (елементи № 3-8 на рис. 3.8). Верхній пояс ферми приймаємо перерізом одного типорозміру на всій довжині (половині ферми). За результатами статичного розрахунку найбільше стискаюче зусилля виникає в елементах №5 і №6 і дорівнює $N = -253,15$ кН (див. табл. 3.8). Підбір перерізу верхнього поясу виконуємо із розрахунку стійкості при центральному стиску згідно з методикою п. 8.1.3 ДБН В.2.6-198 [17].

Розрахункова довжина верхнього поясу в площині ферми дорівнює геометричній відстані між її вузлами $l_{ef} = l = 153$ см [17, п. 13.1.1]. Розкріплення поясу у напрямку із площини ферми здійснюють прогони, але тільки ті, які працюють в складі в'язевого блоку. Враховуючи це розрахункова довжина верхнього поясу у напрямку із площини ферми дорівнює $l_{ef,1} = l_1 = 306$ см. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0,8$ [17, табл. 5.1] як для стиснутих елементів з парних кутиків. Попередньо приймаємо з умови економічності максимальну гнучкість стиснутого поясу $\lambda = 80$, яка не перевищує допустимого значення $[\lambda] = 200$.

Необхідні параметри для розрахунку коефіцієнту стійкості при центральному стиску:
умовна гнучкість

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 80 \sqrt{\frac{239,0}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,73;$$

коефіцієнти $\alpha = 0,04$, $\beta = 0,14$ для кривої стійкості «с» [17, табл. 8.1];

коефіцієнт $\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9,87(1 - 0,04 + 0,14 \cdot 2,73) + 2,73^2 = 20,67$.

Коефіцієнт стійкості при центральному стиску:

$$\varphi = \frac{0,5}{\bar{\lambda}^2} \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \bar{\lambda}^2} \right) = \frac{0,5}{2,73^2} \left(20,67 - \sqrt{20,67^2 - 39,48 \cdot 2,73^2} \right) = 0,612.$$

Так як для кривої стійкості «с» $\bar{\lambda} = 2,73 > 0,4$ та $\bar{\lambda} = 2,73 \leq 5,8$ остаточно приймаємо $\varphi = 0,612$ (додаткові умови згідно з [17, п. 8.1.3], які слід перевіряти для кривої стійкості «с»).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 57

З умови стійкості при центральному стиску

$$\frac{N\gamma_n}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1$$

визначаємо умову підбору перерізу за значенням потрібної площі стиснутого поясу

$$A \geq A_{\text{пт.}} = \frac{N\gamma_n}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{253,15 \cdot 1,1}{0,612 \cdot 239,0 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 0,002378 \text{ м}^2 = 23,78 \text{ см}^2.$$

Умови підбору перерізу за потрібними значеннями радіусів інерції перерізу стиснутого поясу:

$$i_y \geq i_{y,\text{пт.}} = \frac{l_{ef}}{\lambda} = \frac{153}{80} = 1,91 \text{ см}; \quad i_z \geq i_{z,\text{пт.}} = \frac{l_{ef,1}}{\lambda} = \frac{306}{80} = 3,83 \text{ см}.$$

За умовами підбору перерізу стиснутого поясу згідно з сортаментом рівнополичних кутиків приймаємо переріз 2L90x7 з такими геометричними характеристиками:

$$A = 24,56 \text{ см}^2 > A_{\text{пт.}} = 23,78 \text{ см}^2;$$

$$i_y = 2,77 \text{ см} > i_{y,\text{пт.}} = 1,91 \text{ см}; \quad i_z = 3,99 \text{ см} > i_{z,\text{пт.}} = 3,83 \text{ см}.$$

Параметри підбраного перерізу суттєво не перевищують по площі та одному із значень радіусів інерції потрібних розрахункових значень:

$$\left(\frac{A}{A_{\text{пт.}}} - 1 \right) \cdot 100 = \left(\frac{24,56}{23,78} - 1 \right) \cdot 100 = 3,3 \% < 5,0 \%$$

$$\left(\frac{i_z}{i_{z,\text{пт.}}} - 1 \right) \cdot 100 = \left(\frac{3,99}{3,83} - 1 \right) \cdot 100 = 4,2 \% < 5,0 \%$$

Тому підібраний переріз із парних рівнополичних кутиків можна вважати оптимальним.

3.6.2 Нижній пояс (елементи № 16-18 на рис. 3.8; елемент №15 є по суті «нульовим» і відіграє конструктивну функцію). Верхній пояс ферми приймаємо перерізом одного типорозміру на всій довжині ферми. За результатами статичного розрахунку найбільше зусилля розтягу згідно з даними таблиці 3.8 виникає в елементі №17 і дорівнює $N = 239,28 \text{ кН}$. Підбір перерізу нижнього поясу виконуємо із розрахунку міцності при центральному розтязі згідно з методикою п. 8.1.1 ДБН В.2.6-198 [17].

Розрахункова довжина нижнього поясу в площині ферми дорівнює геометричній відстані між її вузлами $l_{ef} = l = 300 \text{ см}$ [17, п. 13.1.1]. Розкріплення поясу у напрямку із площини ферми здійснюють горизонтальні в'язі в рівні нижнього поясу ферм каркасу виробничого цеху. Враховуючи це розрахункова довжина нижнього поясу у напрямку із площини ферми дорівнює $l_{ef,1} = l_1 = 600 \text{ см}$. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1,0$ [17, табл. 5.1] як для випадків не обумовлених нормами. Підбір перерізу нижнього поясу виконуємо з умови, що максимальна гнучкість розтягнутого елемента не перевищує допустимого

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 58

значення $\lambda \leq [\lambda] = 400$.

З умови міцності при центральному розтязі

$$\frac{N\gamma_n}{AR_y\gamma_c} \leq 1$$

визначаємо умову підбору перерізу за значенням потрібної площі розтягнутого поясу

$$A \geq A_{\text{пт.}} = \frac{N\gamma_n}{R_y\gamma_c} = \frac{239,28 \cdot 1,1}{239,0 \cdot 10^3 \cdot 1,0} = 0,001101 \text{ м}^2 = 11,01 \text{ см}^2.$$

Умова підбору перерізу за потрібними значеннями радіусів інерції перерізу розтягнутого поясу з умови обмеження його гнучкості:

$$i_y \geq i_{y,\text{пт.}} = \frac{l_{ef}}{[\lambda]} = \frac{300}{400} = 0,75 \text{ см}; \quad i_z \geq i_{z,\text{пт.}} = \frac{l_{ef,1}}{[\lambda]} = \frac{600}{400} = 1,50 \text{ см}.$$

За умовами підбору перерізу розтягнутого поясу приймаємо згідно з сортаментом рівнополичних кутиків переріз 2L50x6 з такими геометричними характеристиками:

$$A = 11,38 \text{ см}^2 > A_{\text{пт.}} = 11,01 \text{ см}^2;$$

$$i_y = 1,52 \text{ см} > i_{y,\text{пт.}} = 0,75 \text{ см}; \quad i_z = 2,40 \text{ см} > i_{z,\text{пт.}} = 1,50 \text{ см}.$$

З умов економічності рекомендується виконувати підбір перерізів розтягнутих елементів у випадку якщо параметр гнучкості не є визначальним з перевищенням потрібної по розрахунку площі елемента не більше 5%. Площа підбраного перерізу суттєво не перевищує розрахункове значення потрібної площі $\left(\frac{A}{A_{\text{пт.}}} - 1\right) \cdot 100 = \left(\frac{11,38}{11,01} - 1\right) \cdot 100 = 3,4 \% < 5 \%$.

Тому підібраний переріз нижнього поясу можна вважати оптимальним.

3.6.3 Стиснуті розкоси (елементи № 23 і №30 на рис. 3.8).

Розкіс №23. Зусилля в розкосі $N = -66,20$ кН (див. табл. 3.8). Підбір перерізу розкосу виконуємо із розрахунку стійкості при центральному стиску згідно з методикою п. 8.1.3 ДБН В.2.6-198 [17]. Розрахункові довжини розкосу приймаємо згідно з вимогами таблиці 13.1 ДБН В.2.6-198 [17]: $l_{ef} = 0,8l = 0,8 \cdot 183,1 = 146,5$ см; $l_{ef,1} = l_1 = 183,1$ см. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0,8$ [17, табл. 5.1] як для стиснутих елементів з парних кутиків. Попередньо приймаємо з умови економічності гнучкість розкосу $\lambda = 100$, яка не перевищує допустимого значення $[\lambda] = 200$. Визначаємо необхідні параметри для розрахунку коефіцієнту стійкості при центральному стиску: умовна гнучкість

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 100 \sqrt{\frac{239,0}{2,06 \cdot 10^5}} = 3,41;$$

коефіцієнти $\alpha = 0,04$, $\beta = 0,14$ для кривої стійкості «с» [17, табл. 8.1];

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 59

коефіцієнт $\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta\bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9,87 \cdot (1 - 0,04 + 0,14 \cdot 3,41) + 3,41^2 = 25,78$.

Коефіцієнт стійкості при центральному стиску:

$$\varphi = \frac{0,5}{\bar{\lambda}^2} \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48\bar{\lambda}^2} \right) = \frac{0,5}{3,41^2} \left(25,78 - \sqrt{25,78^2 - 39,48 \cdot 3,41^2} \right) = 0,491.$$

Так як для кривої стійкості «с» $\bar{\lambda} = 3,41 > 0,4$ та $\bar{\lambda} = 3,41 \leq 5,8$ остаточно приймаємо $\varphi = 0,491$ (додаткові умови згідно з [17, пп. 8.1.3], які слід перевіряти для кривої стійкості «с»). Визначаємо умову підбору перерізу розкосу за значенням потрібної площі

$$A \geq A_{\text{пт.}} = \frac{N\gamma_n}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{66,2 \cdot 1,1}{0,491 \cdot 239,0 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 0,000775 \text{ м}^2 = 7,75 \text{ см}^2.$$

Умови підбору перерізу розкосу за потрібними значеннями радіусів інерції перерізу:

$$i_y \geq i_{y,\text{пт.}} = \frac{l_{ef}}{\lambda} = \frac{146,5}{100} = 1,47 \text{ см}; \quad i_z \geq i_{z,\text{пт.}} = \frac{l_{ef,1}}{\lambda} = \frac{183,1}{100} = 1,83 \text{ см}.$$

За умовами підбору перерізу розкосу з врахуванням конструктивних вимог приймаємо переріз 2L50x5 з такими геометричними характеристиками:

$$A = 9,60 \text{ см}^2 > A_{\text{пт.}} = 7,75 \text{ см}^2;$$

$$i_y = 1,53 \text{ см} > i_{y,\text{пт.}} = 1,47 \text{ см}; \quad i_z = 2,38 \text{ см} > i_{z,\text{пт.}} = 1,83 \text{ см}.$$

Площа підбраного перерізу по площі значно перевищує потрібне значення (на 24 %). Спробуємо замінити підбраний переріз розкосу на більш оптимальний. Для цього збільшуємо попереднє значення гнучкості до $\lambda = 107$. Тоді необхідні параметри для розрахунку коефіцієнту стійкості при центральному стиску:

умовна гнучкість

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 107 \sqrt{\frac{239,0}{2,06 \cdot 10^5}} = 3,65;$$

коефіцієнти $\alpha = 0,04$, $\beta = 0,14$ для кривої стійкості «с» [17, табл. 8.1];

коефіцієнт $\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta\bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9,87 \cdot (1 - 0,04 + 0,14 \cdot 3,65) + 3,65^2 = 27,79$.

Коефіцієнт стійкості при центральному стиску:

$$\varphi = \frac{0,5}{\bar{\lambda}^2} \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48\bar{\lambda}^2} \right) = \frac{0,5}{3,65^2} \left(27,79 - \sqrt{27,79^2 - 39,48 \cdot 3,65^2} \right) = 0,453.$$

Так як для кривої стійкості «с» $\bar{\lambda} = 3,61 > 0,4$ та $\bar{\lambda} = 3,61 \leq 5,8$ остаточно приймаємо $\varphi = 0,453$ (додаткові умови згідно з [17, пп. 8.1.3], які слід перевіряти для кривої стійкості «с»). Визначаємо умову підбору перерізу розкосу за значенням потрібної площі

$$A \geq A_{\text{пт.}} = \frac{N\gamma_n}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{66,2 \cdot 1,1}{0,453 \cdot 239,0 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 0,000840 \text{ м}^2 = 8,40 \text{ см}^2.$$

Умови підбору перерізу розкосу за потрібними значеннями радіусів інерції перерізу:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 60

$$i_y \geq i_{y,пт.} = \frac{l_{ef}}{\lambda} = \frac{146,5}{107} = 1,38 \text{ см}; \quad i_z \geq i_{z,пт.} = \frac{l_{ef,1}}{\lambda} = \frac{183,1}{107} = 1,73 \text{ см}.$$

За цими умовами згідно з сортаментом підходить переріз розкосу 2L45x5 з такими геометричними характеристиками:

$$A = 8,58 \text{ см}^2 > A_{пт.} = 8,30 \text{ см}^2;$$

$$i_y = 1,37 \text{ см} = i_{y,пт.} = 1,37 \text{ см}; \quad i_z = 2,18 \text{ см} > i_{z,пт.} = 1,67 \text{ см}.$$

Перевіряємо умови оптимальності підбраного перерізу:

$$\left(\frac{A}{A_{пт.}} - 1 \right) \cdot 100 = \left(\frac{8,58}{8,30} - 1 \right) \cdot 100 = 3,4 \% < 5,0 \%.$$

$$\left(\frac{i_z}{i_{z,пт.}} - 1 \right) \cdot 100 = \left(\frac{2,18}{1,67} - 1 \right) \cdot 100 = 30,5 \% > 5,0 \%$$

Умови оптимальності виконуються. Проведені розрахунки послідовними наближеннями гнучкості дозволили оптимізувати переріз стиснутого елемента. Остаточні за результатами розрахунків приймаємо переріз розкосу 2L45x5 площею $A = 8,58 \text{ см}^2$.

Розкіс №30. Зусилля в розкосі $N = -26,42 \text{ кН}$ (див. табл. 3.8). Розрахункові довжини розкосу: $l_{ef} = 0,8l = 0,8 \cdot 223,0 = 178,4 \text{ см}$; $l_{ef,1} = l_1 = 223,0 \text{ см}$. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0,8$ [17, табл. 5.1] як для стиснутих елементів з парних кутиків. Попередньо приймаємо гнучкість розкосу $\lambda = 120$, яка не перевищує допустимого значення $[\lambda] = 200$. Необхідні параметри для розрахунку:

умовна гнучкість

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 120 \sqrt{\frac{239,0}{2,06 \cdot 10^5}} = 4,0;$$

коефіцієнти $\alpha = 0,04$, $\beta = 0,14$ для кривої стійкості «с» [17, табл. 8.1];

коефіцієнт $\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9,87(1 - 0,04 + 0,14 \cdot 4,09) + 4,09^2 = 31,83$.

Коефіцієнт стійкості при центральному стиску:

$$\varphi = \frac{0,5}{\bar{\lambda}^2} \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \bar{\lambda}^2} \right) = \frac{0,5}{4,09^2} \left(31,83 - \sqrt{31,83^2 - 39,48 \cdot 4,09^2} \right) = 0,390.$$

Визначаємо умову підбору перерізу розкосу за значенням потрібної площі

$$A \geq A_{пт.} = \frac{N \gamma_n}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{26,42 \cdot 1,1}{0,39 \cdot 239,0 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 0,00039 \text{ м}^2 = 3,90 \text{ см}^2.$$

Умови підбору перерізу розкосу за потрібними значеннями радіусів інерції перерізу:

$$i_y \geq i_{y,пт.} = \frac{l_{ef,y}}{\lambda} = \frac{178,4}{120} = 1,49 \text{ см}; \quad i_z \geq i_{z,пт.} = \frac{l_{ef,z}}{\lambda} = \frac{223,0}{120} = 1,86 \text{ см}.$$

За умовами підбору приймаємо необхідний переріз розкосу з врахуванням конструктивних вимог 2L45x5 з такими геометричними характеристиками:

$$A = 9,60 \text{ см}^2 > A_{пт.} = 3,90 \text{ см}^2;$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 61

$$i_y = 1,53 \text{ см} > i_{y,\text{пт.}} = 1,49 \text{ см}; i_z = 2,38 \text{ см} > i_{z,\text{пт.}} = 1,86 \text{ см}.$$

Площа підбраного перерізу по площі значно перевищує потрібне значення. Спробуємо замінити підбраний переріз розкоса на більш оптимальний. Для цього збільшуємо попереднє значення гнучкості до $\lambda = 140$, Тоді необхідні параметри для розрахунку коефіцієнту стійкості при центральному стиску: умовна гнучкість

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 140 \sqrt{\frac{239,0}{2,06 \cdot 10^5}} = 4,77;$$

коефіцієнти $\alpha = 0,04$, $\beta = 0,14$ для кривої стійкості «с» [Ошибка! Закладка не определена., табл. 8.1];

$$\text{коефіцієнт } \delta = 9,87(1 - \alpha + \beta \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9,87(1 - 0,04 + 0,14 \cdot 4,77) + 4,77^2 = 38,80.$$

Коефіцієнт стійкості при центральному стиску:

$$\varphi = \frac{0,5}{\bar{\lambda}^2} \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \bar{\lambda}^2} \right) = \frac{0,5}{4,77^2} \left(38,80 - \sqrt{38,80^2 - 39,48 \cdot 4,77^2} \right) = 0,311.$$

Так як для кривої стійкості «с» $\bar{\lambda} = 4,77 > 0,4$ та $\bar{\lambda} = 4,77 \leq 5,8$ остаточно приймаємо $\varphi = 0,311$ (додаткові умови згідно з [17, пп. 8.1.3], які слід перевіряти для кривої стійкості «с»). Визначаємо умову підбору перерізу розкосу за значенням потрібної площі

$$A \geq A_{\text{пт.}} = \frac{N \gamma_n}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{26,42 \cdot 1,1}{0,311 \cdot 239,0 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 0,000489 \text{ м}^2 = 4,89 \text{ см}^2.$$

Умови підбору перерізу розкосу за потрібними значеннями радіусів інерції перерізу:

$$i_y \geq i_{y,\text{пт.}} = \frac{l_{ef}}{\lambda} = \frac{178,4}{140} = 1,27 \text{ см}; i_z \geq i_{z,\text{пт.}} = \frac{l_{ef,1}}{\lambda} = \frac{223,0}{140} = 1,59 \text{ см}.$$

За цими умовами підбору необхідний переріз розкосу з врахуванням конструктивних вимог 2L45x5 з такими геометричними характеристиками:

$$A = 8,58 \text{ см}^2 > A_{\text{пт.}} = 4,89 \text{ см}^2;$$

$$i_y = 1,37 \text{ см} > i_{y,\text{пт.}} = 1,27 \text{ см}; i_z = 2,18 \text{ см} > i_{z,\text{пт.}} = 1,59 \text{ см}.$$

Другий варіант підбраного перерізу розкосу є більш оптимальним. Даний елемент є малонавантаженим і подальше збільшення гнучкості не забезпечує оптимізацію перерізу. Остаточно приймаємо переріз розкосу 2L45x5 площею $A = 8,58 \text{ см}^2$.

3.6.4 Розтягнуті розкоси (елементи № 22, 27, 29 і 32 на рис. 3.8).

Розкіс №22. Якщо умовно виключити нульовий стержень №15 тоді розкіс №22 є елементом ламаного нижнього поясу. Тому в цьому стержні виникає значне розтягуюче зусилля $N = 189,89 \text{ кН}$ (див. табл. 3.8). Підбір перерізу цього розкосу виконуємо за методикою аналогічно підбору елементів нижнього поясу. Розрахункову довжину розкосу в площині ферми приймаємо рівній геометричній відстані між вузлами його кріплення як для опорних елементів

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 62

ферми $l_{ef} = l = 156,7$ см. Розкріплення поясу у напрямку із площини ферми приймаємо як для нижнього поясу. Тоді розрахункова довжина розкоса у напрямку із площини ферми дорівнює $l_{ef,1} = 600$ см. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1,0$ як для випадків не обумовлених нормами. Підбір перерізу розкосу виконуємо з умови, що максимальна гнучкість розтягнутого елемента не перевищує допустимого значення $\lambda \leq [\lambda] = 400$.

З умови міцності при центральному розтязі

$$\frac{N\gamma_n}{AR_y\gamma_c} \leq 1$$

визначаємо умову підбору перерізу за значенням потрібної площі розтягнутого розкосу

$$A \geq A_{пт.} = \frac{N\gamma_n}{R_y\gamma_c} = \frac{189,89 \cdot 1,1}{239,0 \cdot 10^3 \cdot 1,0} = 0,000874 \text{ м}^2 = 8,74 \text{ см}^2.$$

Умови підбору перерізу розкосу з умови обмеження його гнучкості:

$$i_y \geq i_{y,пт.} = \frac{l_{ef}}{[\lambda]} = \frac{156,7}{400} = 0,39 \text{ см}; \quad i_z \geq i_{z,пт.} = \frac{l_{ef,1}}{[\lambda]} = \frac{600}{400} = 1,50 \text{ см}.$$

За умовами підбору перерізу розкосу згідно з сортаментом рівнополічних кутиків приймаємо переріз 2L50x5 з такими геометричними характеристиками:

$$A = 9,60 \text{ см}^2 > A_{пт.} = 8,74 \text{ см}^2;$$

$$i_y = 1,53 \text{ см} > i_{y,пт.} = 0,39 \text{ см}; \quad i_z = 2,38 \text{ см} > i_{z,пт.} = 1,50 \text{ см}.$$

Площа підбраного перерізу не перевищує розрахункове значення потрібної площі більше ніж на 10 %:

$$\left(\frac{A}{A_{пт.}} - 1 \right) \cdot 100 = \left(\frac{9,6}{8,74} - 1 \right) \cdot 100 = 9,8 \% < 10 \%.$$

Тому підібраний переріз з двох рівнополічних кутиків 2L50x5 можна вважати оптимальним.

Розкоси №27, 29, 32. Для цих розкосів приймаємо з умов уніфікації один типорозмір. Найбільше розтягуюче зусилля становить для розкосу №32 і дорівнює $N = 43,92$ кН (див. табл. 3.8). Даний розкіс є найдовшим і має найбільшу гнучкість. Тому типорозмір розтягнутих розкосів визначаємо із розрахунку елемента №32. Розрахункові довжини розкосу приймаємо згідно з вимогами таблиці 13.1 ДБН В.2.6-198 [17]: $l_{ef} = 0,8l = 0,8 \cdot 270,4 = 216,3$ см; $l_{ef,1} = l_1 = 270,4$ см. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1,0$ як для випадків не обумовлених нормами. Підбір перерізу розкосів виконуємо з умови, що максимальна гнучкість розтягнутого елемента не перевищує допустимого значення $\lambda \leq [\lambda] = 400$.

З умови міцності при центральному розтязі

$$\frac{N\gamma_n}{AR_y\gamma_c} \leq 1$$

визначаємо умову підбору перерізу за значенням потрібної площі розтягнутого

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 63

розкосу

$$A \geq A_{\text{пт.}} = \frac{N\gamma_n}{R_y\gamma_c} = \frac{43,92 \cdot 1,1}{239,0 \cdot 10^3 \cdot 1,0} = 0,000202 \text{ м}^2 = 2,02 \text{ см}^2.$$

Умови підбору перерізу розкосу з умови обмеження його гнучкості:

$$i_y \geq i_{y,\text{пт.}} = \frac{l_{ef,z}}{[\lambda]} = \frac{216,3}{400} = 0,54 \text{ см}; \quad i_z \geq i_{z,\text{пт.}} = \frac{l_{ef,y}}{[\lambda]} = \frac{270,4}{400} = 0,68 \text{ см}.$$

Товщина прокатних елементів ферми має бути не менше 5мм з умов нормального зварювання. Тому за умовами підбору перерізу розкосу та конструктивної вимоги нормального зварювання згідно з сортаментом рівнополичних кутиків приймаємо переріз 2L25x5 з такими геометричними характеристиками:

$$A = 4,54 \text{ см}^2 > A_{\text{пт.}} = 2,02 \text{ см}^2;$$

$$i_y = 0,73 \text{ см} > i_{y,\text{пт.}} = 0,54 \text{ см}; \quad i_z = 1,41 \text{ см} > i_{z,\text{пт.}} = 0,68 \text{ см}.$$

Підібраний переріз не є оптимальним. Тому розглянемо альтернативний варіант проектування розтягнутих розкосів з поодиноких кутиків. Для цього випадку перерізу розрахункова довжина розкосу у будь-якому напрямку буде дорівнювати [17, табл. 13.1] $l_{ef} = 0,85l = 0,85 \cdot 270,4 = 229,8 \text{ см}$.

Переріз розкосу з одинокого кутика підбираємо за умовою потрібної площі для першого варіанту та умови обмеження його гнучкості:

$$i_{\min} \geq i_{\min,\text{пт.}} = \frac{l_{ef}}{[\lambda]} = \frac{229,8}{400} = 0,575 \text{ см}.$$

У якості альтернативного перерізу розтягнутих розкосів приймаємо переріз з одинокого кутика L35x5 з такими геометричними характеристиками:

$$A = 3,28 \text{ см}^2 > A_{\text{пт.}} = 2,02 \text{ см}^2;$$

$$i_{\min} = 0,68 \text{ см} > i_{\min,\text{пт.}} = 0,575 \text{ см}.$$

Альтернативний (другий) варіант перерізу розтягнутих розкосів є більш економічним по витратах сталі, а також дозволяє скоротити трудовитрати на виготовлення ферми завдяки скороченню кількості деталей. Умови оптимальності не виконуються оскільки основною є розрахункова умова обмеження гнучкості і подальша оптимізація перерізу за цією умовою обмежена номенклатурою профілів сортаменту.

3.6.5 Проміжні стояки (елементи №26, №28, №31 на рис. 3.8).

В усіх проміжних стояках зусилля наближено однакові $N = -16,18 \text{ кН}$ (див. табл. 3.8). Ці елементи є малонавантаженими. З умов уніфікації приймаємо однаковий переріз проміжних стояків з поодиноких кутиків. Підбір перерізу стояка виконуємо по найдовшому елементу №31, що характеризується найбільшим показником гнучкості. Розрахункова довжина стояка з поодинокого кутика у будь-якому напрямку буде дорівнювати [17, табл. 13.1] $l_{ef} = l_{ef,1} = 0,85l = 0,85 \cdot 195 = 165,8 \text{ см}$. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0,75$ [17, табл. 5.1] як для стиснутих елементів з поодиноких кутиків. Враховуючи попередні

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 64

розрахунки попередньо приймаємо гнучкість стояка $\lambda = 160$. Необхідні параметри для розрахунку коефіцієнту стійкості при центральному стиску: умовна гнучкість

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 170 \sqrt{\frac{239,0}{2,06 \cdot 10^5}} = 5,79.$$

коефіцієнти $\alpha = 0,04$, $\beta = 0,14$ для кривої стійкості «с» [17, табл. 8.1];

коефіцієнт $\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2 = 9,87 \cdot (1 - 0,04 + 0,14 \cdot 5,79) + 5,79^2 = 51,0$.

Коефіцієнт стійкості при центральному стиску:

$$\varphi = \frac{0,5}{\bar{\lambda}^2} \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \bar{\lambda}^2} \right) = \frac{0,5}{5,79^2} \left(51,0 - \sqrt{51,0^2 - 39,48 \cdot 5,79^2} \right) = 0,228.$$

Так як для кривої стійкості «с» $\bar{\lambda} = 5,79 > 0,4$ та $\bar{\lambda} = 5,79 \leq 5,8$ остаточно приймаємо $\varphi = 0,279$. Визначаємо умову підбору перерізу стояка за значенням потрібної площі

$$A \geq A_{\text{пт.}} = \frac{N \gamma_n}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{16,18 \cdot 1,1}{0,228 \cdot 239,0 \cdot 10^3 \cdot 0,75} = 0,000435 \text{ м}^2 = 4,35 \text{ см}^2.$$

Умови підбору перерізу стояка за потрібними значеннями радіусів інерції перерізу:

$$i_{\min} \geq i_{\min, \text{пт.}} = \frac{l_{ef}}{\lambda} = \frac{165,8}{170} = 0,975 \text{ см.}$$

За умовами підбору з врахуванням конструктивних вимог приймаємо переріз стояка L50x5 з такими геометричними характеристиками:

$$A = 4,80 \text{ см}^2 > A_{\text{пт.}} = 4,35 \text{ см}^2;$$

$$i_{\min} = 0,99 \text{ см} > i_{\min, \text{пт.}} = 0,975 \text{ см.}$$

Підібраний переріз даного елемента є оптимальним за умовою гнучкості. Подальше збільшення гнучкості не призводить до зменшення площі підбраного елемента. Тому остаточно приймаємо переріз з L50x5.

Всі виконані розрахунки зводимо в таблицю 3.9.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 65

Таблиця 3.9 – Підбір перерізів елементів ферми

№ елемента ферми	Розрахункове зусилля N, кН	l, см	Переріз	Крива стійкості	Площа перерізу A, см ²	Радіус інерції, см		Розрах. довжини, см		Гнучкість				δ	φ	γ_c	Напруження, МПа		Коефіцієнт використання	
						i_y	i_z	l_{efz}	l_{efy}	λ_z	λ_y	$\bar{\lambda}$	[λ]				$\frac{N\gamma_n}{\varphi A}$	$R_y\gamma_c$	Несучої здатності	Гнучкості
1	2	4	5	6	7	8	9	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Верхній пояс																				
3, 4	-185,50	153,0	2L80x6	c	18,76	2,46	3,57	153	306	62	86	2,92	200	22,03	0,577	0,8	188,7	191,2	0,99	0,43
5, 6	-253,15	153,0	2L90x7	c	24,56	2,77	3,99	153	306	55	77	2,61	200	19,91	0,633	0,8	179,1	191,2	0,94	0,38
7, 8	-227,34	153,0	2L90x6	c	21,22	2,78	3,97	153	306	55	77	2,63	200	20,00	0,631	0,8	186,8	191,2	0,98	0,39
Нижній пояс																				
15	-2,86	150,0	2L35x5	c	6,56	1,05	1,79	150	150	143	84	4,87	200	39,88	0,301	0,8	15,9	191,2	0,08	0,71
16	234,73	300,0	2L50x6	c	11,38	1,52	2,40	300	600	198	250	8,52	400	0,00	1,000	1	226,9	239,0	0,95	0,63
17	239,28	300,0	2L50x6	c	11,38	1,52	2,40	300	600	198	250	8,52	400	0,00	1,000	1	231,3	239,0	0,97	0,63
18	197,26	300,0	2L50x5	c	9,60	1,53	2,38	300	600	196	252	8,59	400	0,00	1,000	1	226,0	239,0	0,95	0,63
Розкоси стиснуті																				
23	-66,20	183,1	2L45x5	c	8,58	1,37	2,18	146	183	107	84	3,64	200	27,77	0,454	0,8	187,1	191,2	0,98	0,53
30	-26,42	223,0	2L45x5	c	8,58	1,37	2,18	178	223	130	102	4,44	200	35,28	0,347	0,8	97,7	191,2	0,51	0,65
Розкоси розтягнуті																				
22	189,89	156,6	2L50x5	c	9,60	1,53	2,38	157	157	102	66	3,49	400	–	1,000	1	217,6	239,0	0,91	0,26
27	14,87	183,1	L25x5	c	2,27	0,48	0,48	156	156	324	324	11,04	400	–	1,000	0,75	72,1	179,3	0,40	0,81
29	11,36	223,0	L25x5	c	2,27	0,48	0,48	190	190	395	395	13,45	400	–	1,000	0,75	55,0	179,3	0,31	0,99
32	43,92	270,4	L35x5	c	3,28	0,68	0,68	230	230	338	338	11,51	400	–	1,000	0,75	147,3	179,3	0,82	0,85
Стояки																				
26	-16,06	75,0	L35x5	c	3,28	0,68	0,68	64	64	94	94	3,19	200	24,09	0,528	0,75	102,1	179,3	0,57	0,47
28	-16,06	135,0	L45x5	c	4,29	0,88	0,88	115	115	130	130	4,44	200	35,34	0,346	0,75	119,0	179,3	0,66	0,65
31	-16,18	195,0	L50x5	c	4,80	0,99	0,99	166	166	167	167	5,70	200	49,88	0,233	0,75	158,9	179,3	0,89	0,84
40	-104,97	45,0	2L45x5	c	8,58	1,37	2,18	45	45	33	21	1,12	200	12,27	0,884	1	136,1	239,0	0,64	0,16

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 66

3.7 Конструювання ферми

3.7.1 Остаточні рішення по перерізам елементів ферми

З врахуванням результатів підбору перерізів елементів ферми, вимог уніфікації та практичних рекомендацій з конструювання (див. п. 2.2.9) остаточно приймаємо перерізи елементів ферми у відповідності до таблиці 3.10

Таблиця 3.10 – Остаточні прийняті перерізи елементів ферми

Найменування елементів	Переріз	Номер елемента (див. рис. 3.8)
Верхній пояс	2L90x7	3-8
Нижній пояс	2L50x6	15-18
Опорний стояк	2L50x5	40
Опорний розкіс		22
Стиснуті розкоси		23
	L50x5	30
Розтягнуті розкоси		27, 29, 32
Стояки		26, 28, 31

Кількість типорозмірів елементів 4, що менше допустимих 6-и. Прийнята менша кількість типорозмірів обумовлена рекомендацією відносно мінімального розміру кутика не менше 50мм та мінімальною товщиною кутика 5мм з умови влаштування зварних швів по перу не менше 4 мм.

3.7.2 Конструювання вузлів ферми

Конструювання вузлів ферми полягає у одночасному прийнятті таких рішень:

- забезпечення міцності вузлових з'єднань завдяки розрахунку міцності зварних швів і монтажних болтових з'єднань у відповідності до вимог розділів 16, 17 ДБН В.2.6-198;
- забезпеченні необхідної якості та надійної роботи вузлових з'єднань завдяки виконанню конструктивних вимог згідно положень розділів 16, 17 і підрозділу 17.3 ДБН В.2.6-198.
- остаточного визначення розташування елементів ферми у вузлах з розробкою креслень конструкції ферми.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 67

3.7.3 Розрахунок зварних швів

Згідно з прийнятими вихідними даними (див. п. 3.1) всі заводські зварювальні шви виконуються напівавтоматичним зварюванням під флюсом із застосуванням зварювального дроту марки СВ-08А діаметром $d = 2$ мм (ДСТУ ISO 544). Для виконання монтажних зварювальних швів застосовується ручне зварюванням електродами Е42А або їх сучасні аналоги [17, табл. Д.1].

За результатами попередніх розрахунків товщина елементів ферми прийнята: фасонки $t_f = 8$ мм, кутиків елементів ферми $t = 5...7$ мм. Згідно з вимогами таблиці 16.1 ДБН В.2.6-198 мінімальний катет кутових швів при $R_{yn} \leq 290$ МПа повинен бути $k_{f,min} = 5$ мм. У розрахунках враховуємо положення п. 16.1.5а ДБН В.2.6-198 згідно з яким допускається катет кутових зварювальних швів приймати не меншим $k_{f,min} = 4$ мм за умови забезпечення необхідного виробничого контролю якості швів. Максимальна товщина швів не має перевищувати $k_{f,max} = 1,2t$ [17, п. 16.1.5б], де t – найменша із товщин зварюваних елементів. Таким чином максимальний катет кутових швів має бути в межах $k_{f,max} = 6...8$ мм.

Згідно з прийнятими граничними значеннями катетів зварювальних швів у відповідності до таблиці 16.2 ДБН В.2.6-198 приймаємо необхідні значення коефіцієнтів переходу від катета кутового шва до розрахункової ширини перерізу кутового шва з врахуванням всіх можливих положень шва:

$\beta_f = 0,9$ – у площині наплавленого металу;

$\beta_z = 1,05$ – у площині металу границі сплавлення.

Визначаємо розрахункові опори кутових зварних швів:

- у площині наплавленого металу $R_{wf} = 180$ МПа [17, табл. Д.2];

- у площині металу границі сплавлення

$$R_{wz} = 0,45R_{un} = 0,45 \cdot 370 = 166,5 \text{ МПа [17, табл. 7.3],}$$

де $R_{un} = 370$ МПа – розрахунковий опір сталі класу С255 за тимчасовим опіром.

Розрахунок кутових зварних швів за міцністю на зріз виконують в одній із розрахункових площин [17, п. 16.1.16]:

якщо $\frac{\beta_f R_{wf}}{\beta_z R_{wz}} \leq 1$ – у площині наплавленого металу;

якщо $\frac{\beta_f R_{wf}}{\beta_z R_{wz}} > 1$ – у площині межі сплавлення.

Так як

$$\frac{\beta_f R_{wf}}{\beta_z R_{wz}} = \frac{0,9 \cdot 180}{1,05 \cdot 166,5} = 0,93 < 1$$

розрахунок слід виконувати у площині наплавленого металу (по металу шва) за формулою (16.2) ДБН В.2.6-198:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 68

$$\frac{N\gamma_n}{\beta_f k_f l_w R_{wf} \gamma_c} \leq 1.$$

З цієї умови отримують залежність для визначення необхідної розрахункової довжини зварних швів

$$l_w \geq \frac{N\gamma_n}{\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c}.$$

Для практичних розрахунків зварних з'єднань ферм з елементами з парних кутиків дану формулу перетворюють у більш практичні залежності, в яких враховують такі фактори:

1) при розміщенні зварних швів у вузлі слід пам'ятати про необхідність зберігання положення осі дії зусилля, тобто площі швів слід розподіляти обернено пропорційне відстаням від осі елемента до осі шва. Для рівнополичних кутиків можна приблизно брати $N^{об} = 0,7N$ – для зварних швів по обушку, $N^n = 0,3N$ – для зварних швів по перу;

2) в розрахунках слід враховувати, що зусилля у вузлі сприймається від елемента з парних кутиків двома кутиками ($n = 2$), від елемента з поодиноким кутиком одним кутиком ($n = 1$);

3) значення катету зварного шва з конструктивних вимог повинно знаходитися в межах $k_{f,min} \leq k_f \leq k_{f,max}$, де максимальний катет для кріплення прокатних кутиків має відповідати таким вимогам [17, п. 16.1.5б]:

$k_{f,max} \leq 0,9t$ – для швів по перу (вздовж закругленої форми кромки фасонного прокату) у випадку коли t – найменша товщина зварюваних елементів відповідає товщині полиці кутика;

$k_{f,max} \leq 1,2t$ – загальна умова для всіх зварних швів, де t – найменша із товщин зварюваних елементів;

4) під час визначення необхідної довжини кутових швів слід враховувати допуск на можливий непровар $a = 10$ мм [17, п. 16.1.16];

5) розрахункова довжина кутового шва повинна бути не менша 50 мм і з врахуванням допуску на можливий непровар $a = 10$ мм має становити не менше $l_{w,min} = 50 + 10 = 60$ мм [17, п. 16.1.5в];

6) розрахункова довжина швів у вузлових сполученнях не повинна перевищувати $l_w \leq 85\beta_f k_f$ [17, п.16.1.5д]. Як правило у фермах цю умову слід перевіряти для швів кріплення елементів поясів до фасонки.

З врахуванням перелічених факторів необхідні довжини зварних швів визначають за формулами:

- по обушку

$$l_w^{об} = \frac{0,7N\gamma_n}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} + a \geq l_{w,min}; \quad (3.1)$$

- по перу

$$l_w^n = \frac{0,3N\gamma_n}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} + a \geq l_{w,min}; \quad (3.2)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 69

Визначення розрахункових довжин зварних швів кріплення елементів ферми до фасонки виконують у відповідності до таких додаткових правил:

1) для всіх елементів решітки розрахунок виконують на повні значення розрахункових зусиль за формулами (3.1), (3.2);

2) для елементів поясів у вузлах зміни перерізу або зміни нахилу суміжних елементів, коли елементи поясу проектується розрізними по довжині і конструктивно кріпляться окремими зварними швами до фасонки, розрахунок виконують на повні значення зусиль як і для елементів решітки;

3) у випадку коли у вузлі переріз поясу не розривається, тобто проектується нерозрізним (рис. 3.14), розрахункові довжини зварних швів кріплення нерозрізного поясу до вузлової фасонки виконують на зусилля, яке визначають за формулою

$$N = \sqrt{\Delta N^2 + P^2}, \quad (3.3)$$

де $\Delta N = N_2 - N_1$ – різниця зусиль в суміжних елементах поясів (див. рис. 3.14);

P – зосереджена сила на вузол від зовнішнього навантаження. Зусилля, які визначені у вузлах з нерозрізним поясом, як правило є незначними. Тому довжина швів кріплення поясу в таких вузлах зазвичай призначається конструктивно, виходячи з розмірів фасонки після конструювання вузлів;

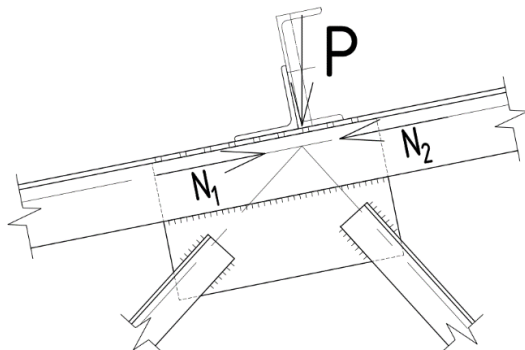


Рисунок 3.14 – До розрахунку зварних швів кріплення нерозрізного поясу до фасонки

4) якщо довжина швів по перу та обушку приймається рівною мінімальному значенню з конструктивних вимог $l_{w,min} = 60$ мм, у такому випадку рекомендується для забезпечення рівноваги передачі зусиль від елемента через зварні шви на фасонку приймати катет швів по обушку більшим ніж по перу. Співвідношення катетів має бути таким, щоб розрахункова довжина швів по перу та по обушку кутиків кратно не відрізнялася;

Результати розрахунку всіх зварних швів для нашої ферми, що зведені без врахування вимоги $l_w \geq l_{w,min}$, наведені в таблиці 3.11. Також в таблиці 3.11 для поясів для спрощення з навчальною метою визначена розрахункова довжина швів на повне значення зусиль без врахування нерозрізності поясу. Під час конструювання вузлів слід остаточно прийняти фактичну геометричну довжину зварних швів з округленням до 10 мм у більшу сторону з врахуванням

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 70

конструктивної вимоги $l_w \geq l_{w,min}$. При цьому у вузлах, де кутики поясу не перериваються, слід врахувати пропорційно зменшені розрахункові довжини швів у порівнянні з розрахованими значеннями (див. табл. 3.11) у відповідності до різниці зусиль у суміжних елементах поясу.

Далі розглянемо почергово розрахунок основних вузлів на прикладі розглянутої ферми. Приклади конструювання і розрахунків типових вузлів, які не представлені в даних методичних вказівках наведені в навчальній літературі [14, 20, 21].

Таблиця 3.11 – Розрахунок необхідних довжин кутових зварних швів

Номер елемента ферми	Розрахун- кове зусилля N, кН	Переріз	γс	п	Розрахункові параметри зварних швів					
					по обушку			по перу		
					N ^{об} , кН	k _f , мм	l _w , мм	N ^п , кН	k _f , мм	l _w , мм
Верхній пояс										
3	-185,50	2L80x6	1	2	129,85	4	120	55,65	4	57
4	-185,50	2L80x6	1	2	129,85	4	120	55,65	4	57
5	-253,15	2L90x7	1	2	177,21	4	160	75,95	4	74
6	-253,15	2L90x7	1	2	177,21	4	160	75,95	4	74
7	-227,34	2L90x6	1	2	159,14	4	145	68,20	4	68
8	-227,34	2L90x6	1	2	159,14	4	145	68,20	4	68
Нижній пояс										
15	-2,86	2L35x5	1	2	2,00	4	12	0,86	4	11
16	234,73	2L50x6	1	2	164,31	4	149	70,42	4	70
17	239,28	2L50x6	1	2	167,50	4	152	71,78	4	71
18	197,26	2L50x5	1	2	138,08	4	127	59,18	4	60
Розкоси стиснуті										
23	-66,20	2L45x5	1	2	46,34	5	41	19,86	4	27
30	-26,42	2L45x5	1	2	18,49	5	23	7,93	4	17
Розкоси розтягнуті										
22	189,89	2L50x5	1	2	132,92	6	85	56,97	4	58
27	14,87	L25x5	0,75	1	10,41	5	24	4,46	4	18
29	11,36	L25x5	0,75	1	7,95	5	21	3,41	4	16
32	43,92	L35x5	0,75	1	30,74	5	52	13,18	4	32
Стояки										
26	-16,06	L35x5	0,75	1	11,24	5	25	4,82	4	18
28	-16,06	L45x5	0,75	1	11,24	5	25	4,82	4	18
31	-16,18	L50x5	0,75	1	11,33	5	25	4,85	4	18
40	-104,97	2L45x5	1	2	73,48	6	52	31,49	4	37

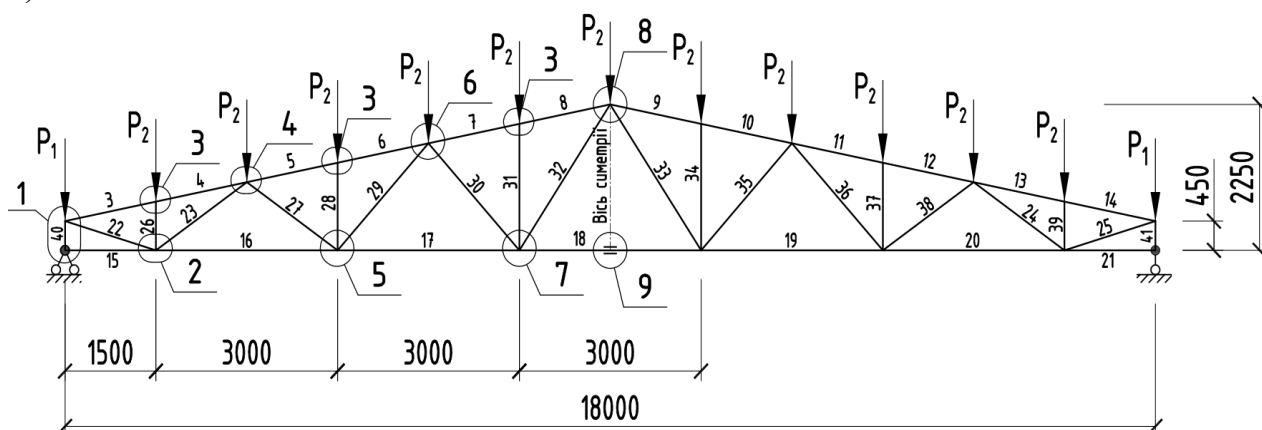
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 71

3.7.4 Приклади розрахунку та конструювання вузлів ферм

Розрахунки необхідних довжин зварних швів виконуємо з використанням прийнятих вихідних даних щодо технології зварювання та підібраних матеріалів для зварювання у відповідності до п. 3.7.3.

На рисунку 3.15 наведені розрахункова схеми ферми та схематичне креслення ферми на стадії КМ з позначенням основних конструктивних вузлів, нумерацією елементів (див. рис. 3.15а) та позначенням остаточно прийнятих перерізів елементів ферми (див. рис. 3.15б).

а)



б)

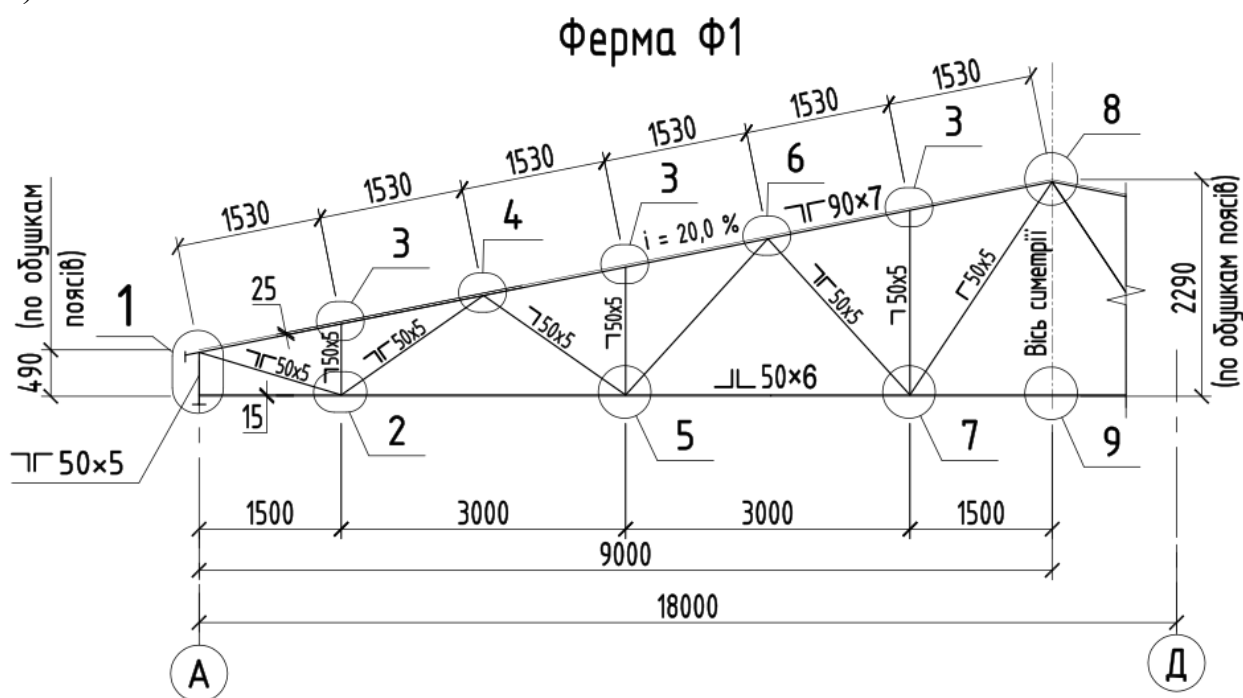
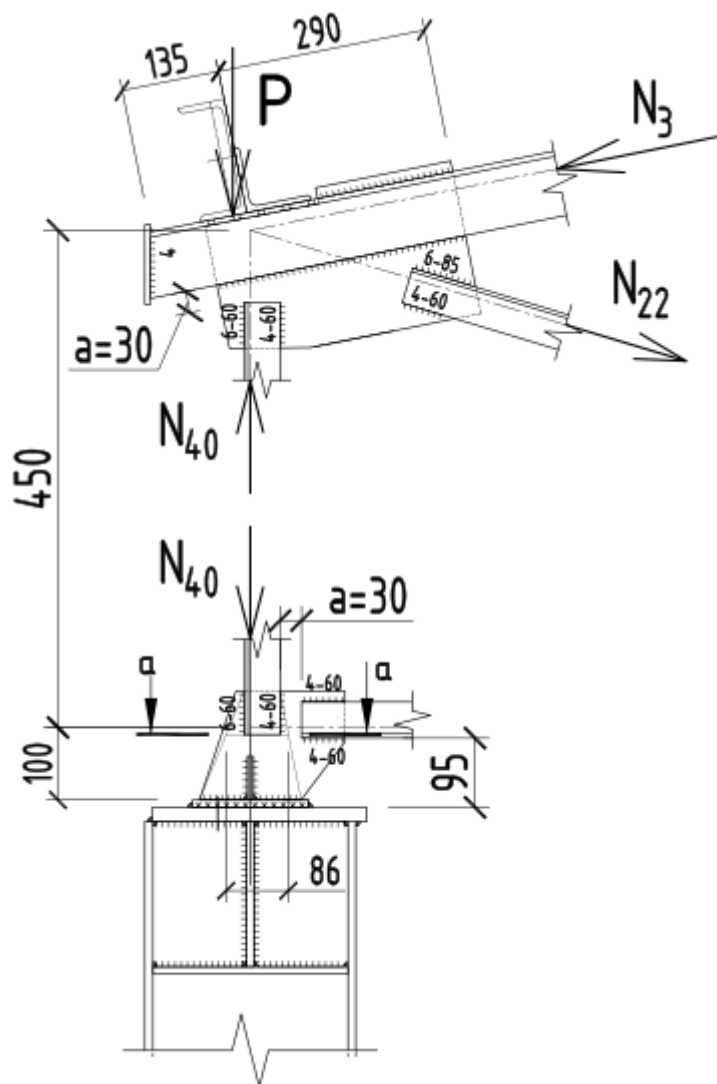


Рисунок 3.15 – Схеми ферми з позначенням вузлів:

- а) розрахункова з нумерацією елементів в моделі ПК «Ліра-САПР»;
- б) схематичне креслення на стадії КМ з позначенням перерізів ферми

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 72

Вузол 1 (див. рис. 3.15). Конструкція цього вузла показана на рисунку 3.16. Даний вузол є опорним і складається із 2-х частин: нижньої частини в місці обпирання на металеву колону та верхньої частини, до якої кріпиться основний опорний розтягнутий розкіс. Обпирання ферми на колону вирішену зверху через опорну пластину. Таке рішення характерне для обпирання ферм на залізобетонні колони. Проте при помірних опорних навантаженнях це рішення може бути застосоване для обпирання на металеві колони.



Примітка. Катет не вказаних швів елементів ферми $k_f = 4$ мм.

Рисунок 3.16 – До розрахунку і конструювання вузла 1 ферми

Зусилля від опорного стояка на нижню частину опорного вузла дорівнює $N_{40} = -104,97$ кН (див. табл. 3.8). Перевіряємо умову міцності опорної фасонки вузла в місці кріплення стояка (переріз а-а на рис. 3.16):

- розрахункова площа фасонки $A_\phi = b t_\phi = 0,086 \cdot 0,008 = 6,88 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;

- перевіряємо міцність фасонки на стиск згідно з умовою (8.1) ДБН В.2.6-198:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 73

$$\frac{N_{40}\gamma_n}{A_\phi R_y \gamma_c} = \frac{104,97 \cdot 1,1}{6,88 \cdot 10^{-4} \cdot 239 \cdot 10^3 \cdot 1} = 0,702 < 1.$$

Умова міцності фасонки опорного вузла на стиск виконується. З конструктивних міркувань в опорному вузлі приймаємо опорну пластину товщиною 10 мм та встановлюємо два поперечних ребра з пластин товщиною 8 мм. Ці ребра необхідні для забезпечення стійкості ферми та для приварювання опорної пластини.

Виконуємо розрахунок необхідної довжини зварних швів кріплення опорного стояка перерізом 2L50x5 до вузла обпирання ферми на колону:

- попередньо призначаємо товщину зварних швів з врахуванням конструктивних умов $k_f \geq k_{f,min} = 4 \text{ мм}$ та $k_{f,max} \leq 1,2t = 1,2 \cdot 5 = 6 \text{ мм}$:

по обушку $k_f = k_{f,max} = 6 \text{ мм}$, по перу $k_f = k_{f,min} = 4 \text{ мм}$;

- визначаємо необхідні розрахункові довжини швів за формулами (3.1), (3.2):

по обушку

$$l_w^{об} = \frac{0,7N\gamma_n}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} + a = \frac{0,7 \cdot 104,97 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,006 \cdot 180 \cdot 10^3 \cdot 1} + 0,01 = 0,052 \text{ м} = 52 \text{ мм},$$

по перу

$$l_w^п = \frac{0,3N\gamma_n}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} + a = \frac{0,3 \cdot 104,97 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,004 \cdot 180 \cdot 10^3 \cdot 1} + 0,01 = 0,037 \text{ м} = 37 \text{ мм}.$$

Далі приймаємо фактичну довжину швів з врахуванням конструктивної умови $l_w \geq l_{w,min} = 60 \text{ мм}$. Тоді остаточні довжини зварних швів кріплення кутиків опорного стояка до фасонки будуть дорівнювати по обушку та по перу $l_w^{об} = l_w^п = 60 \text{ мм}$.

Зварні шви кріплення елемента нижнього поясу до опорного вузла приймаємо конструктивно з мінімальних вимог, оскільки даний елемент №15 є «нульовим», тобто зусилля в ньому практично дорівнюють нулю. Приймаємо катет всіх зварних швів кріплення цього елемента $k_f = k_{f,min} = 4 \text{ мм}$, а довжину всіх швів $l_w = l_{w,min} = 60 \text{ мм}$.

Виконуємо розрахунок верхньої частини вузла 1, до якої кріпиться опорний розкіс №22, елемент верхнього поясу №3 та опорний стояк №40. Кріплення стояка до верхньої частини вузла приймаємо за результатами розрахунку нижньої частини вузла.

Визначаємо розрахункові довжини зварних швів кріплення опорного розкосу №22 перерізом 2L50x5 до вузла на розрахункове зусилля $N_{22} = 189,89 \text{ кН}$ (див. табл. 3.8):

- типорозмір перерізу опорного розкосу та стояка однаковий, тому призначаємо катети зварних швів для кріплення опорного розтягнутого розкосу рівними катетам швів опорного стояка по обушку $k_f = k_{f,max} = 6 \text{ мм}$, по перу $k_f = k_{f,min} = 4 \text{ мм}$;

- визначаємо необхідні розрахункові довжини швів:

по обушку

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 74

$$l_w^{об} = \frac{0,7N\gamma_n}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} + a = \frac{0,7 \cdot 189,89 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,006 \cdot 180 \cdot 10^3 \cdot 1} + 0,01 = 0,085 \text{ м} = 85 \text{ мм},$$

по перу

$$l_w^п = \frac{0,3N\gamma_n}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} + a = \frac{0,3 \cdot 189,89 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,004 \cdot 180 \cdot 10^3 \cdot 1} + 0,01 = 0,058 \text{ м} = 58 \text{ мм}.$$

Далі приймаємо фактичну довжину швів з врахуванням конструктивної умови $l_w \geq l_{w,min} = 60 \text{ мм}$. Тоді остаточні довжини зварних швів кріплення кутиків розкосу до фасонки будуть дорівнювати по обушку $l_w^{об} = 85 \text{ мм}$ та по перу $l_w^п = 60 \text{ мм}$.

Визначаємо розрахункові довжини зварних швів кріплення елемента поясу №3 перерізом 2L90x7 до вузла на розрахункове зусилля $N_3 = -185,50 \text{ кН}$ (див. табл. 3.8):

- зварні шви кріплення елементів поясів, як правило, накладають по всій довжині фасонки. У таких випадках фактична довжина зварних швів задовольняє розрахункові умови із значним запасом. Враховуюче це приймаємо необхідний катет кріплення кутиків поясу до фасонки рівним мінімальному значенню як по обушку так і по перу $k_f = k_{f,min} = 4 \text{ мм}$;

- визначаємо необхідні розрахункові довжини швів:

по обушку

$$l_w^{об} = \frac{0,7N\gamma_n}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} + a = \frac{0,7 \cdot 185,5 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,004 \cdot 180 \cdot 10^3 \cdot 1} + 0,01 = 0,120 \text{ м} = 120 \text{ мм},$$

по перу

$$l_w^п = \frac{0,3N\gamma_n}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} + a = \frac{0,3 \cdot 185,5 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,004 \cdot 180 \cdot 10^3 \cdot 1} + 0,01 = 0,057 \text{ м} = 57 \text{ мм}.$$

Із схеми вузла на рисунку 3.16 видно, що фактична довжина зварних швів кріплення елемента верхнього поясу №3 до верхньої частини опорного вузла значно перевищує розраховані значення. Міцність зварних швів елемента верхнього поясу №3 до вузла 1 буде забезпечена.

Після розрахунку і остаточного прийняття довжини всіх зварних швів виконують конструювання вузла. Під час конструювання слід правильно розташувати елементи у вузлах згідно з конструктивними вимогами та прийнятими довжинами зварних швів. Рекомендується розробку креслення вузлів ферми виконувати у такій послідовності:

- наносять на геометричну схему ферми, лінії якої є осями елементів, контури всіх перерізів елементів ферми;

- визначають необхідну мінімальну відстань між крайками елементів поясу та елементів решітки [17, п. 17.3.3] згідно з умовою

$$a \geq 6t_\phi - 20 \leq 80 \text{ мм};$$

- визначають розташування елементів решітки у вузлі з дотриманням наведеної умови, наносять прийняті довжини зварних швів і остаточно

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 75

визначають розміри вузлової фасонки.

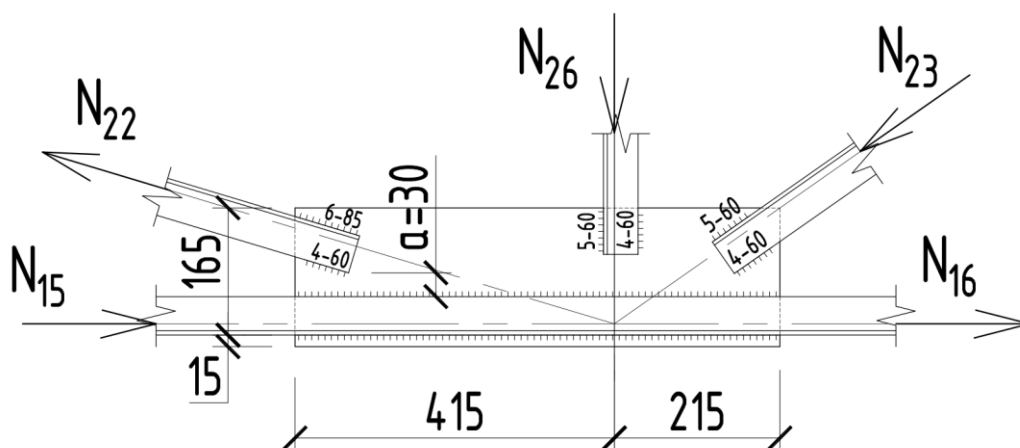
Для конструювання вузла 1 на рисунку 16 з умови

$$a \geq 6t_{\phi} - 20 = 6 \cdot 8 - 20 = 28 \text{ мм} \leq 80 \text{ мм}$$

прийнято остаточно $a = 30 \text{ мм}$ (див. рис. 3.16).

Вузол 2 (див. рис. 3.15). Конструкція цього вузла показана на рисунку 3.17. Даний вузол є проміжним. У вузлі кріпляться такі елементи: опорний розтягнутий розкіс №22 перерізом з 2L50x5 із зусиллям $N_{22} = 189,89 \text{ кН}$; елементи нижнього поясу №15 і №16 перерізом з 2L50x6 із зусиллями $N_{15} = -2,86 \text{ кН}$, $N_{16} = 234,73 \text{ кН}$; стиснутий елемент стояка №26 перерізом з L50x5 із зусиллям $N_{26} = -16,06 \text{ кН}$; стиснутий розкіс №23 перерізом з 2L50x5 із зусиллям $N_{23} = -66,2 \text{ кН}$.

Розрахунок довжини зварних швів кріплення опорного розкосу №22 перерізом 2L50x5 виконаний вище при конструюванні. Тому зварні шви кріплення розкосу №22 приймаємо як у вузлі 1: по обуху катетом $k_f = 6 \text{ мм}$ довжиною $l_w^{об} = 85 \text{ мм}$ та по перу катетом $k_f = 4 \text{ мм}$ довжиною $l_w^п = 60 \text{ мм}$.



Примітка. Катет не вказаних швів $k_f = 4 \text{ мм}$.

Рисунок 3.17 – До розрахунку і конструювання вузла 2 ферми

Елементи нижнього поясу у вузлі є нерозрізними. Тому для розрахунку зварних швів визначаємо розрахункове зусилля за формулою (3.3)

$$N = \sqrt{\Delta N^2 + P^2} = \sqrt{(234,73 - (-2,86))^2 + 0^2} = 237,6 \text{ кН}.$$

Визначаємо розрахункові довжини зварних швів кріплення елементів нерозрізного поясу №15 і №16 перерізом 2L50x6 до вузла:

- зварні шви кріплення елементів поясів, як правило, накладають по всій довжині фасонки. У таких випадках фактична довжина зварних швів задовольняє розрахункові умови із значним запасом. Враховуюче це приймаємо необхідний катет кріплення кутиків посеред фасонки рівним мінімальному

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 76

значенню як по обушку так і по перу $k_f = k_{f,min} = 4$ мм;

- визначаємо необхідні розрахункові довжини швів:

по обушку

$$l_w^{об} = \frac{0,7N\gamma_n}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} + a = \frac{0,7 \cdot 237,6 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,004 \cdot 180 \cdot 10^3 \cdot 1} + 0,01 = 0,151 \text{ м} = 151 \text{ мм},$$

по перу

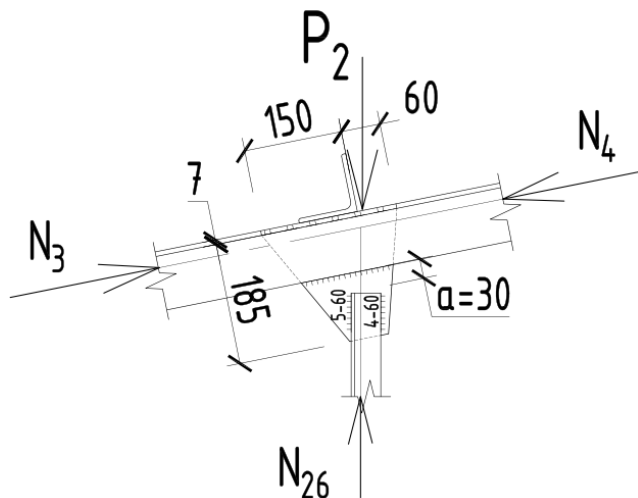
$$l_w^п = \frac{0,3N\gamma_n}{n\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} + a = \frac{0,3 \cdot 237,6 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,004 \cdot 180 \cdot 10^3 \cdot 1} + 0,01 = 0,071 \text{ м} = 71 \text{ мм}.$$

Із схеми вузла на рисунку 3.17 видно, що фактична довжина зварних швів кріплення нерозрізних елементів нижнього поясу №15, №16 до вузла 2 дорівнює 630 мм, що кратно перевищує розраховані значення. Тому міцність зварних швів нижнього поясу забезпечена. Перевіряємо умову обмеження розрахункової довжини зварних швів кріплення нижнього поясу до фасонки у вузлі:

$$l_w = 151 \text{ мм} < l_{w,max} = 85\beta_f k_f = 85 \cdot 0,9 \cdot 4 = 306 \text{ мм} - \text{умова виконується.}$$

В опорному стояку №26 та стиснутому розкосі №23 зусилля порівняно є невеликими (див. табл. 3.8). Розрахунки показують, що розрахункова довжина зварних швів кріплення цих елементів (див. табл. 3.11) менше необхідної з конструктивних вимог. Тому остаточно довжину зварних швів кріплення цих елементів приймаємо мінімально необхідною $l_w = l_{w,min} = 60$ мм. Для збереження по можливості рівномірної передачі зусиль від елементів через зварні шви на фасонку приймаємо конструктивно катет швів по перу $k_f = 4$ мм, а по обушку – $k_f = 5$ мм (див. рис. 3.17).

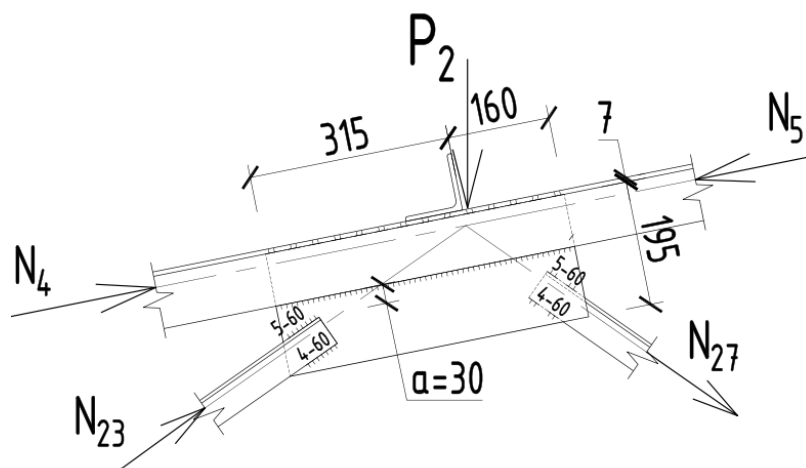
Вузол 3-7 (див. рис. 3.15). Ці вузли є проміжними. Зварні шви кріплення елементів решітки в цих вузлах приймаються за конструктивними вимогами (див. табл. 3.11). Конструювання цих вузлів виконується аналогічно розглянутому вузлу 2. Принципові конструкції не розглянутих проміжних вузлів показані на рисунку 3.18, 3.19.



Примітка. Катет не вказаних швів
 $k_f = 4$ мм.

Рисунок 3.18 – Розрахункова схема та конструкція вузла 3 ферми

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 77



Примітка. Катет не вказаних швів $k_f = 4$ мм.

Рисунок 3.19 – Розрахункова схема та конструкція вузла 4 ферми

Вузли 8, 9 (див. рис. 3.15). Ці вузли на практиці слід проектувати монтажними, оскільки довжина ферми перевищує допустимі 15 м для транспортування автотранспортом. Тому ферму слід виготовляти по частинам (відправочним маркам). Після перевезення на будівельний майданчик відправочні марки з'єднують в єдину конструкцію ферми завдяки влаштуванню монтажних вузлів. Конструювання таких вузлів вимагає виробничого досвіду з виготовлення та монтажу металевих конструкцій. Тому враховуючи обмеження часу на курсовий проект ці вузли виконуємо у спрощеному варіанті – у вигляді стикових вузлів. Верхній стиковий вузол 8 потребує розрахунку стику верхнього поясу в місці перелому. Нижній стиковий вузол 9 виконується через значну довжину більше 12 м елемента нижнього поясу. Сталевий прокат випускається з умов забезпечення транспортування, як правило, довжиною до 12 м. Тому елементи довжиною більше 12 м слід виконувати з проміжними стиками.

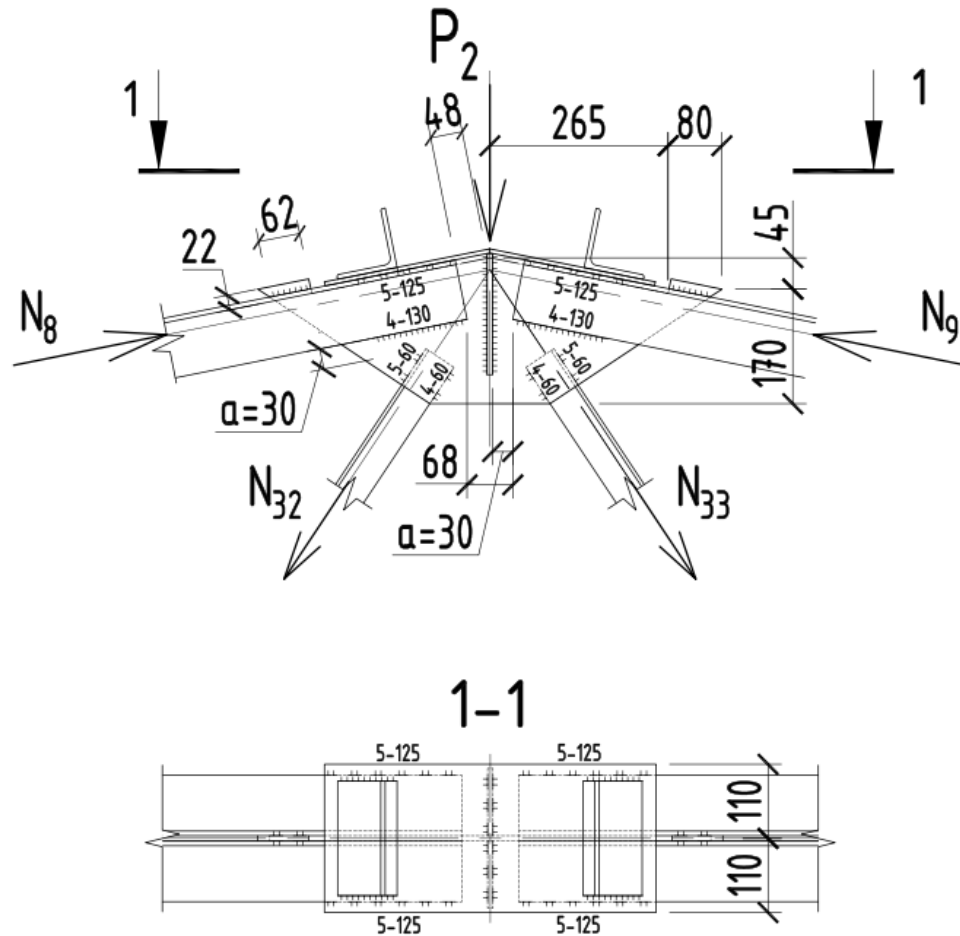
Принципова конструкція стикового вузла 8 показана на рисунку 3.20.

В стикових вузлах, коли переріз поясу переривається, для передачі зусиль з одного елемента поясу на суміжний необхідно встановлювати листові накладки або накладки з кутиків. Рішення з листовими накладками більш універсальне, оскільки накладками з кутиків можна перекривати лише кутики з однаковою товщиною полиць. Робота вузла з переривчастими поясами досить складна, тому він розраховується значною мірою досить умовно. Товщину накладки приймають за розрахунком, але не меншою ніж товщина фасонки. Площа накладки повинна бути не менша ніж площа пера поясу. Сумарну площу накладки або накладок рекомендується визначати з урахуванням часткової роботи фасонки за наближеною залежністю [20]:

$$\sum A_n = \frac{1,2N\gamma_n}{R_y\gamma_c} - 2bt_\phi, \quad (3.4)$$

де b – ширина вертикальної полиці кутика поясу ($2bt_\phi$ – площа частини фасонки, що включається в роботу).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 78



Примітка. Катет не вказаних швів $k_f = 4$ мм.

Рисунок 3.20 – Розрахункова схема та конструкція вузла 8 ферми

У вузлі 8 площу стикової накладки приймаємо з конструктивних міркувань: товщину рівною товщині фасонки $t_n = 8$ мм; ширину накладки з умов зварювання з кутиками поясу $b_n = 220$ мм. Тоді фактична площа накладки

$$\sum A_n = b_n t_n = 0,22 \cdot 0,008 = 17,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Стискаюче зусилля в елементах верхнього поясу $N = N_8 = N_9 = - 227,34$ кН. З умови (3.4) визначаємо напруження, які виникають в накладці і перевіряємо дотримання умови міцності

$$\sigma_n = \frac{1,2 N \gamma_n}{\sum A_n + 2 b t_\phi} = \frac{1,2 \cdot 227,34 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3}}{17,6 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 0,09 \cdot 0,008} = 93,8 \text{ МПа} < R_y \gamma_c = 239 \cdot 1 = 239 \text{ МПа}.$$

Умова міцності прийнятої накладки виконується.

Визначаємо розрахункову довжину зварних швів кріплення стикової накладки:

- зусилля, яке сприймає накладка без врахування коефіцієнта γ_n

$$N_n = \sigma_n \sum A_n / \gamma_n = 93,8 \cdot 10^3 \cdot 17,6 \cdot 10^{-4} / 1,1 = 150,1 \text{ кН};$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 79

- приймаємо катет флангових кутових швів кріплення накладки з конструктивних вимог $k_f = 5$ мм [17, табл. 16.1];

- необхідна довжина флангових кутових швів кріплення накладки до кожного кутика поясу

$$l_w = \frac{N_n \gamma_n}{n \beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} + a = \frac{150,1 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,005 \cdot 180 \cdot 10^3 \cdot 1} + 0,01 = 0,112 \text{ м} = 121 \text{ мм.}$$

Приймаємо фактичну довжина швів кріплення стикової накладки 125 мм катетом $k_f = 5$ мм.

Визначаємо розрахункову довжину зварних швів кріплення кутиків поясу до фасонки:

- визначаємо зусилля, яке передається з кутиків поясів на фасонку з умов

$$N_\phi = \max \begin{cases} 1,2N - N_n \\ 0,6N \end{cases} = \max \begin{cases} 1,2 \cdot 227,34 - 150,1 = 122,7 \text{ кН} \\ 0,6 \cdot 227,34 = 136,4 \text{ кН} \end{cases} = 136,4 \text{ кН;}$$

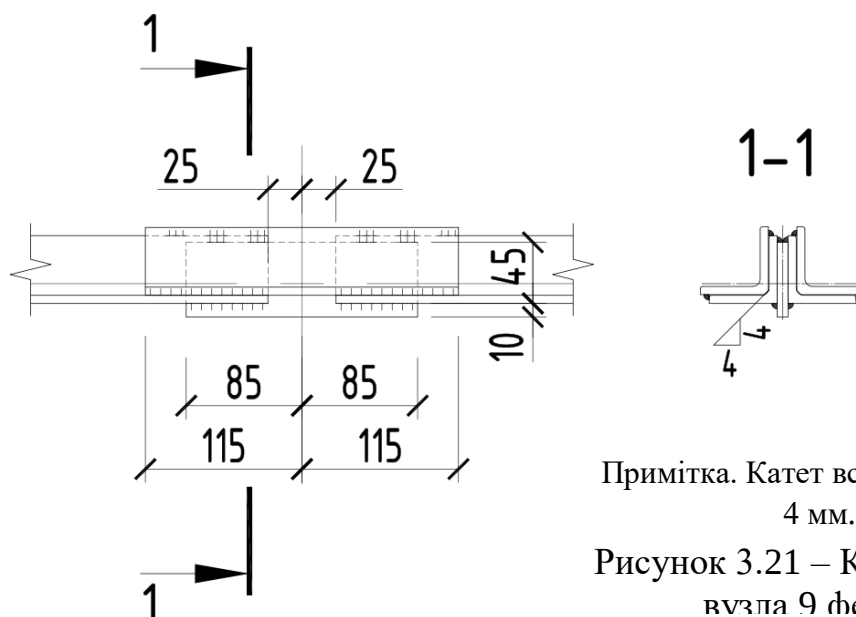
- приймаємо катет кутових швів кріплення кутиків поясів до фасонки мінімальним з конструктивних вимог $k_f = 4$ мм;

- необхідна довжина флангових кутових швів кріплення кутиків поясів до фасонки

$$l_w = \frac{N_\phi \gamma_n}{n \beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} + a = \frac{136,4 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,004 \cdot 180 \cdot 10^3 \cdot 1} + 0,01 = 0,126 \text{ м} = 126 \text{ мм.}$$

Приймаємо фактичну довжину швів кріплення кутиків поясів до фасонки 130 мм катетом $k_f = 4$ мм.

Стиковий вузол 9 є типовим і розраховується аналогічно тому детальний розрахунок його не приводимо. Конструкція вузла 9 показана на рисунку 3.21.



Примітка. Катет всіх швів $k_f = 4$ мм.

Рисунок 3.21 – Конструкція вузла 9 ферми

Приклади розрахунків та конструювання вузлів, які не були розглянуті в цих методичних вказівках, наведені в навчальній літературі [14, 20, 21].

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 80

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 9243.4:2023. Система проектної документації для будівництва. Основні вимоги до проектної документації. [Чинний від 2024-04-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2024. 56 с.
2. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структур та правила оформлення. [Чинний від 2017-07-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 26 с.
3. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
4. ДСТУ Б А.2.4-43:2009 (ГОСТ 21.502-2007, MOD). Правила виконання проектної та робочої документації металевих конструкцій. [Чинний від 2010-01-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 37 с.
5. ДСТУ-Н Б А.2.4-44:2013. Настанова з розроблення проектної та робочої документації металевих конструкцій. Креслення конструкцій металевих деталювальні (КМД). [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2013. 30 с.
6. Швидкокомонтовані споруди [Веб-сайт компанії Прушинські]: PDF-Бібліотека. Каталоги та інструкції. URL:<https://www.pruszynski.com.ua/catalogi/bmz-2017.pdf>.
7. Довідник «Прушинські» 2024 [Веб-сайт компанії Прушинські]: PDF-Бібліотека. Каталоги та інструкції. URL:https://www.pruszynski.com.ua/wp-content/uploads/2024/05/21_05_2024_Pruszynski_dovidnyk_SP_Wooltech_zminy.pdf.
8. PIRTECH СЕНДВІЧ-ПАНЕЛІ з наповнювачем із поліізоціанурата (PIR) [Веб-сайт компанії Прушинські]: PDF-Бібліотека. Каталоги та інструкції. URL:https://www.pruszynski.com.ua/wp-content/uploads/2023/11/30_11_2023_Pruszynski_SP_PIR_s_7.pdf.
9. ТЕРМО-БУД. Сендвіч-панелі. Технічний каталог [Електронний ресурс]: URL: <https://thermo-bud.com.ua/catalog>.
10. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будівель і споруд. [Чинний від 2018-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2017. 43 с.
11. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2023-03-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2023. 60 с.
12. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Київ: Мінрегіон України, 2022. 23 с.
13. ДСТУ-Н Б В.2.6-190:2013. Настанова з розрахункової оцінки показників теплостійкості та теплосасвоєння огорожувальних конструкцій. [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2024.
14. Пермяков В.О., Белов І.Д. Металеві конструкції. Ферми: Навчальний посібник. Київ. КНУБА, 2006. 170 с.
15. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування: [Надано чинності з 1 січня 2007 р., з врахуванням зміни №1]. Київ: Мінбуд України, 2006. 60 с.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 81

16. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. [Чинний від 2007-01.01]. Київ: Мінбуд України, 2006. 15 с.
17. ДБН В.2.6-198:2014 (зі зміною №1). Сталеві конструкції. Норми проектування: [Чинний від 2022-09-01]. Київ: Мінрегіон України, 2022. 220 с.
18. ДСТУ 8539:2015. Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови. [Чинний від 2016-07-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 19 с.
19. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2019-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2018. 30 с.
20. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для ВНЗ: Видання 2-е, перероблене і доповнене / Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В. та ін.; Під загальною редакцією О.О. Нілова та О.В. Шимановського. Київ: Видавництво «Сталь», 2010. 869 с.
21. Бікс Ю.С., Попов В.О. Проектування елементів покриття (перекриття) будівлі Частина 1. Великопрогонова металева кроквяна ферма: Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 72 с.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 82

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Приклад варіантів завдання на курсовий проект з дисципліни “Будівельні конструкції”

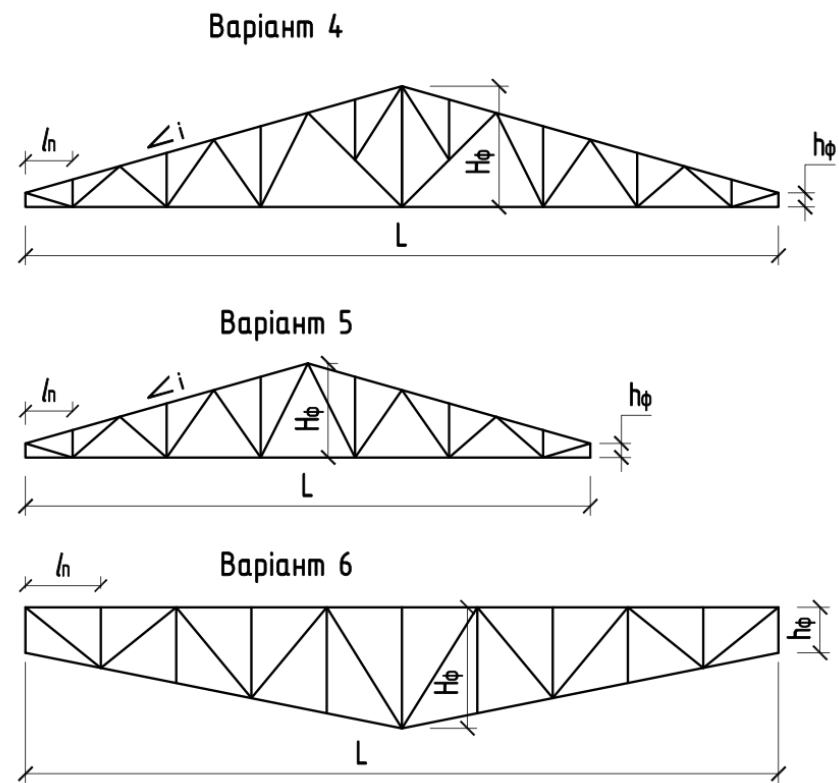
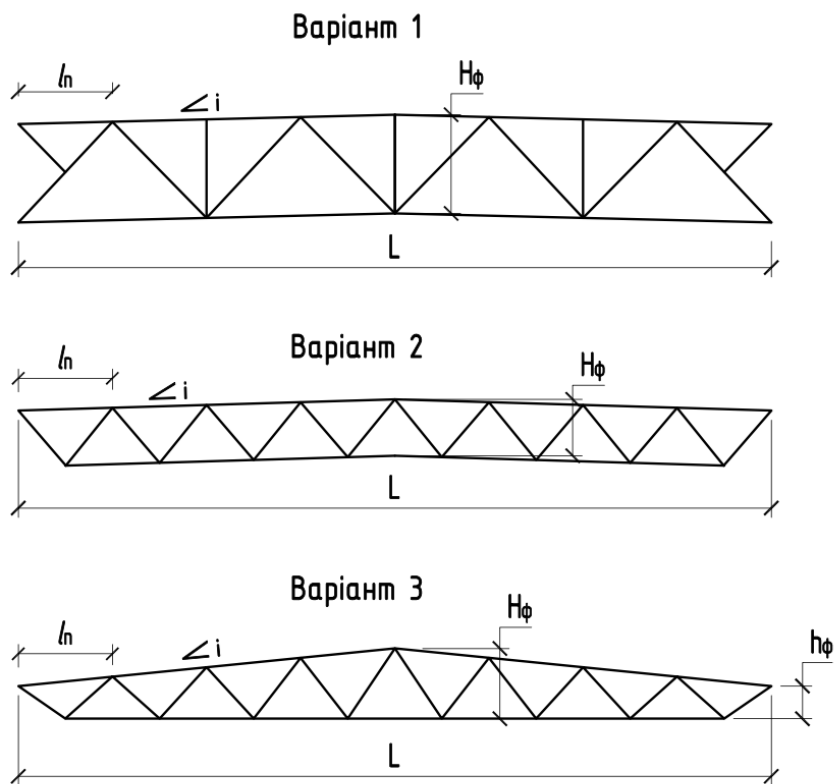
Варіант	Загальні характеристики виробничої будівлі							Параметри ферми			Клас сталі
	Проліт будівлі L , м	Висота будівлі H , м	Крок колон B , м	Кількість кроків n	Термін експлуатації T , років	Район будівництва	Ухил покриття i , %	Варіант схеми Ферми (Рис. А.1)	Довжина панелі l_p , м	Висота ферми на опорі h_ϕ , м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
01	24	8,4	4,2	6	40	Київ	2,5	1	3,0	-	C255
02	24	8,1	4,5	7	50	Житомир	1,5	2	3,0	-	C255
03	24	7,8	4,8	8	60	Вінниця	10	3	3,0	1,0	C255
04	24	7,5	5,1	9	70	Тернопіль	20	4	1,5	0,45	C255
05	18	7,2	5,4	6	80	Луцьк	20	5	1,5	0,45	C255
06	24	6,9	5,7	7	40	Львів	0	6	2,4	1,0	C255
07	30	6,6	6,0	8	50	Чернівці	2,5	1	3,0	-	C345
08	30	6,3	6,3	9	60	Ужгород	1,5	2	3,0	-	C345
09	30	6,0	6,6	6	70	Одеса	10	3	3,0	1,0	C345
10	28	5,7	4,2	7	80	Миколаїв	20	4	1,75	0,5	C345
11	21	5,4	4,5	8	40	Херсон	20	5	1,75	0,5	C345
12	30	5,1	4,8	9	50	Запоріжжя	0	6	3,0	1,0	C345
13	36	4,8	5,1	6	60	Чернігів	2,5	1	3,0	-	C345
14	36	4,5	5,4	7	70	Суми	1,5	2	3,0	-	C345
15	36	4,2	5,7	8	80	Харків	10	3	3,0	1,0	C345
16	32	8,4	6,0	9	40	Полтава	20	4	2,0	0,55	C345
17	24	8,1	6,3	6	50	Дніпро	20	5	2,0	0,55	C345
18	36	7,8	6,6	7	60	Черкаси	0	6	3,6	1,0	C345

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 83

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19	20	7,5	4,2	8	70	Київ	2,0	1	2,5	-	C255
20	20	7,2	4,5	9	80	Житомир	2,0	2	2,5	-	C255
21	20	6,9	4,8	6	40	Вінниця	12	3	2,5	1,0	C255
22	26	6,6	5,1	7	50	Тернопіль	22	4	1,625	0,50	C255
23	27	6,3	5,4	8	60	Луцьк	22	5	2,25	0,70	C255
24	20	6,0	5,7	9	70	Львів	0	6	2,5	1,0	C255
25	22	5,7	6,0	6	80	Чернівці	2,0	1	2,75	-	C255
26	22	5,4	6,3	7	40	Ужгород	2,0	2	2,75	-	C255
27	22	5,1	6,6	8	50	Одеса	12	3	2,75	1,0	C255
28	28	4,8	4,2	9	60	Миколаїв	22	4	1,75	0,55	C255
29	24	4,5	4,5	6	70	Херсон	22	5	2,0	0,65	C255
30	22	4,2	4,8	7	80	Запоріжжя	0	6	2,75	1,0	C255
31	33	8,4	5,1	8	40	Чернігів	2,0	1	2,75	-	C345
32	33	8,1	5,4	9	50	Суми	2,0	2	2,75	-	C345
33	33	7,8	5,7	6	60	Харків	12	3	2,75	1,0	C345
34	30	7,5	6,0	7	70	Полтава	22	4	1,875	0,60	C345
35	24	7,2	6,3	8	80	Дніпро	18	5	2,40	0,8	C345
36	33	6,9	6,6	9	40	Черкаси	0	6	3,30	1,0	C345
37	27	6,6	4,2	6	50	Київ	2,0	1	2,7	-	C345
38	27	6,3	4,5	7	60	Житомир	2,0	2	2,7	-	C345
39	27	6,0	4,8	8	70	Вінниця	12	3	2,7	1,0	C345
40	22	5,7	5,1	9	80	Тернопіль	22	4	1,375	0,45	C345
41	24	5,4	5,4	10	40	Луцьк	22	6	3,0	1,0	C345

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 84



Примітка. Фактична кількість панелей ферми $n_{\text{п}} = L/l_{\text{п}}$ згідно з варіантом може відрізнятися від заданої схеми

Рисунок А.1 – Схеми ферм для варіантів завдання на курсовий проект

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 85

ДОДАТОК Б

Форма Б.1 – Форма індивідуального завдання на курсовий проект

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
КАФЕДРА ГІРНИЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА БУДІВНИЦТВА ім. ПРОФ. БАККА М.Т.

Група _____ Студент(ка) _____
Дата видачі _____ Термін здачі _____

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ № _____

на курсовий проект з дисципліни “Будівельні конструкції”
Тема: «Проектування металевих конструкції одноповерхової
безкранової промислової будівлі»

Вихідні дані для виконання проекту:

1. Поперечний проліт будівлі, L , м _____
2. Висота будівлі H , м _____
3. Крок колон, B , м _____
4. Кількість кроків колон n _____
5. Термін експлуатації будівлі T , років _____
6. Район будівництва _____
7. Ухил покриття i , % _____
8. Номер варіанту схеми ферми _____
9. Довжина панелі ферми l_n , м _____
10. Тип конструкції покриття _____
11. Висота ферми на опорі h_{ϕ} , м _____
12. Клас сталі _____

Зміст та графік виконання проекту:

1. Компонування конструкції покриття - 10 %
2. Розроблення розрахункової схеми. Збір навантажень та статичний розрахунок поперечної рами - 20 %
3. Складання таблиці розрахункових сполучень зусиль та підбір перерізів елементів конструкцій поперечної рами будівлі - 20 %
4. Розрахунок та конструювання основних вузлів конструкцій поперечної рами - 20 %
5. Оформлення робочих креслень та пояснювальної записки - 20 %
6. Попереднє погодження проектного рішення. Доопрацювання та захист проекту - 10 %

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05 - 05.01/192.00.1/Б/ОК24-2024
	Екземпляр № 1	Арк 86 / 86

Алгоритм виконання проекту

1. У відповідності до варіанту курсового проекту виконати компонування металевого каркасу одноповерхової безкранової виробничої будівлі.
2. Виконати збір навантажень у відповідності до району будівництва.
3. Скласти розрахункову комп'ютерну модель поперечної рами каркасу будівлі та виконати її статичний розрахунок.
4. Виконати підбір перерізів елементів конструкцій поперечної рами будівлі за умовами розрахунків за 1-ю групою граничних станів (міцності та стійкості). Для перерізів елементів ферми згідно з сортаментом прийняти не більше 7-8 різних типорозмірів (умова уніфікації).
5. Виконати розрахунок та конструювання вузлів поперечної рами.
6. Розробити креслення конструкцій каркасу будівлі та поперечної рами (ферми) на стадії КМ. Для ферми виконати креслення на стадії КМД.

Обсяг роботи та наповнення курсового проекту

1. Курсовий проект повинен складатися з оформленої належним чином пояснювальної записки та графічної частини. 2. Загальний обсяг пояснювальної записки від 30 до 35 аркушів формату А4.
2. Графічна частина повинна складатись мінімум з двох аркушів формату А2, розроблених на стадії КМ і КМД.
4. Розподіл балів на при оцінюванні курсового проекту:
 - пояснювальна записка – 30 балів;
 - графічна частина – 20 балів;
 - захист роботи – 50 балів.

Завдання отримав _____

Керівник курсового проекту _____