

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання розрахунково-графічної роботи
з навчальної дисципліни

«ПРОЄКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ»

*(для здобувачів вищої освіти усіх форм навчання
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія
освітньої програми «Промислове та цивільне будівництво»)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2021

Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи із навчальної дисципліни «Проектування металевих конструкцій» (для здобувачів усіх форм навчання спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія освітньої програми «Промислове та цивільне будівництво») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : О. І. Лугченко, П. М. Фірсов. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 41 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. О. І. Лугченко,
канд. техн. наук, доц. П. М. Фірсов

Рецензент

О. О. Калмиков, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою будівельних конструкцій, протокол № 7 від 25 січня 2020 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Кроквяні ферми. Загальні положення.....	6
2 Використання та класифікація кроквяних ферм.....	7
3 Розрахунок ферм.....	10
3.1 Розрахункова схема ферми.....	11
3.2 Збір навантажень на ферму.....	11
3.3 Розробка розрахункової схеми.....	13
3.4 Визначення розрахункових зусиль.....	13
4 Конструктивний розрахунок ферм.....	14
4.1 Розрахункові довжини елементів ферми.....	14
4.2 Добір перерізів елементів ферми.....	19
4.3 Розрахунок елементів сталевих конструкцій при центральному розтягу і стиску.....	20
5 Розрахунки й конструювання вузлів ферми.....	24
5.1 Розрахунки й конструювання вузлів ферми.....	25
6 Приклад розрахунку розрахунково-графічної роботи.....	30
6.1 Підбір перерізу стиснутого верхнього поясу.....	31
6.2 Підбір перерізу стиснутої стійки.....	32
6.3 Підбір перерізу розтягнутого елемента.....	34
6.4 Розрахунок параметрів зварених швів.....	35
Використана та рекомендована література.....	38
Додаток А.....	39

ВСТУП

Методичні вказівки для виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Проектування металевих конструкцій» призначені для здобувачів вищої освіти усіх форм навчання спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія освітньої програми «Промислове і цивільне будівництво». Їх мета спрямована на те, щоб студент на практиці оволодів навиками розрахунку і конструювання елементів та вузлів легких металевих крокв'яних ферм.

Розрахунково-графічна робота складається з розрахунково-пояснювальної записки (10–15 аркушів формату А4) і робочих креслень вузлів легких металевих крокв'яних ферм на аркушах формату А4, виконаних з використанням постпроцесора «Комета» розрахункового комплексу SCAD Office 21.2.

Оформлення розрахункової частини: розрахункову частину оформлюють у вигляді пояснювальної записки, яка містить:

- титульний аркуш; завдання на виконання розрахунково-графічної роботи;
- зміст;
- вступ;
- розділи розрахункової частини, нумерація і назви розділів і пунктів пояснювальної записки повинні відповідати цим методичним вказівкам;

- перелік використаних джерел.

У вступі описують:

- основні вимоги до конструкції;
- обґрунтування прийнятих конструктивних рішень;
- склад і зміст розрахункової і графічної частин РГР (коротко).

Кожен розділ розрахункової частини пояснювальної записки повинен містити:

- обґрунтування прийнятих методів розрахунку й обраних конструктивних рішень;
- розрахункові схеми й епюри внутрішніх зусиль;
- розрахункові формули і пояснення до використаних у них величин;
- обґрунтування вибору значень усіх величин, використаних у розрахунку;
- посилання на нормативну й технічну літературу;
- результати розрахунку і висновки з розрахунку.

При виконанні розрахунку і конструюванні елементів кроквяної ферми, необхідно в пояснювальній записці наводити креслення з

нанесенням усіх розмірів, отриманих чи використуваних в розрахунку.

Значення усіх величин, використуваних у розрахунку або отриманих в результаті розрахунку, необхідно супроводжувати вказівкою одиниць виміру. Величини у формулу звичайно підставляють в тих самих одиницях вимірів. Слід пам'ятати, що більшість помилок у розрахунках виникає через підстановку у формули значень, що мають різні одиниці вимірів.

Усі значення величин, одержувані в результаті розрахунку, треба округляти. Рекомендується дотримувати наступні правила округлення:

- значення напруг округляють до 0,1 кН/см²;
- значення навантажень і розрахункових зусиль округляють до трьох значущих цифр, незалежно від положення коми, наприклад:

$$5\ 673,29 = 5\ 670,$$

$$1,347\ 293 = 1,35,$$

$$0,092\ 175 = 0,092\ 2;$$

- геометричні характеристики перерізів округляють до чотирьох значущих цифр;

- значення коефіцієнтів, якщо їх розраховують, округляють до двох чи трьох значущих цифр;

- розміри листових елементів, одержувані в результаті розрахунку, положення отворів та ін.:

довжину і ширину – округляють до 10 (5) мм у більшу сторону;

товщину – до 1...2 мм у більшу сторону; остаточно товщина приймається згідно з сортаментом товстолистової сталі.

Графічну частину виконують на аркушах формату А4. Приклади оформлення графічної частини наведені у відповідних розділах методичних вказівок.

Деталіровочні креслення служать для виготовлення конструкцій, тому на них вказують всі необхідні розміри, які можна розділити на три групи:

- монтажні розміри – розміри конструкцій в осях і за висотою (беруть зі схем розташування елементів), а також прив'язки до цих осей (беруть з креслень вузлів сполучення конструкцій);

- докладні розміри деталей, з яких виготовляється конструкція;

- розміри, що вказують взаємне положення деталей у конструкції.

На деталіровочних кресленнях наводять катети зварних швів, діаметри отворів під болти та їх положення. Катети і діаметри вказують в примітках до креслення або зображають на конструкції. Положення отворів беруть з креслень вузлів сполучення конструкцій.

При виконанні креслень треба дотримуватись загальних правил масштабування при оформленні креслень металевих конструкцій:

- схеми елементів зображують у масштабі 1 : 100, 1 : 150, 1 : 200, вузли – у масштабі 1 : 5, 1 : 10, 1 : 20. Головна вимога – ясність зображення, навіть якщо при цьому доводиться порушувати масштаб (особливо при зображенні профілів);

- конструкції на деталіровочних кресленнях зображують у двох масштабах:

- розміри в осях у масштабі 1 : 20, 1 : 50.

- поперечний переріз, вертикальні й горизонтальні розміри у вузлах зображують у більшому масштабі 1 : 10, 1 : 15, 1 : 20.

Товщина ліній:

- осьові й розмірні лінії – 0,3...0,4 мм;

- контури елементів – 0,5...0,6 мм;

- елементи, що попадають у розріз, зображують більш товстими лініями 0,7...0,8 мм;

- заводські зварні шви зображуються штрихами (1 × 1 мм з проміжком 1 мм);

- монтажні шви – хрестиками (1 мм × 1 мм з проміжком 1 мм).

1 КРОКВЯНІ ФЕРМИ. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Сталеві ферми одержали широке поширення в багатьох областях будівництва: у покриттях і перекриттях промислових і цивільних будинків, мостах, опорах ліній електропередачі, транспортних галереях, об'єктах зв'язки і т.д. Залежно від призначення, умов експлуатації, архітектурних вимог і схеми додатка навантажень ферми можуть мати найрізноманітнішу конструктивну форму – від легких пруткових конструкцій до важких ферм, стрижні яких компонуються з декількох елементів великих профілів.

До останнього часу в покриттях і перекриттях будинків широке застосування одержали легкі ферми з парних гарячекатаних куточків. Такі перетини мають великий діапазон площ, зручні для конструювання вузлів на фасонках і прикріплення, що примикають до ферм конструкцій (прогонів, покрівельних панелей, зв'язків і т.п.). Ферми з парних куточків можна застосовувати при прольоті будинків 18...42 м при будівництві у всіх кліматичних районах. Однак через наявність великої кількості елементів з різними типорозмірами такі

ферми досить трудомісткі у виготовленні, матеріалоємні й можуть застосовуватися тільки в обґрунтованих випадках. Не допускається експлуатація таких ферм у середньо- і сильно агресивному середовищі через наявність щілин між куточками, а також не слід застосовувати їх при позавузлових навантаженнях, що викликають значний місцевий вигин поясів.

Ферма – це решітчаста наскрізна конструкція, що складається з окремих прямолінійних стержнів, з'єднаних між собою у вузлах, які утворюють геометрично незмінну систему. Навантаження на ферму прикладається здебільшого у вузлах, тому в окремих стержнях виникають тільки поздовжні зусилля стиску або розтягу при роботі ферми на згин. Завдяки цьому метал у фермах використовується раціональніше, ніж у балках, тобто вони легші за масою, економічніші, проте більш трудомісткі у виготовленні.

2 ВИКОРИСТАННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ КРОКВЯНИХ ФЕРМ

Сталеві ферми застосовують у покрівлях промислових і житлових будівель, ангарів, вокзалів, спортивних споруд, ринків та інших конструкціях. За статичними ознаками розрізняють ферми:

- балкового типу – однопрольотні, багатопрольотні й консольні;

- аркового;
- рамного типу;
- вантові.

Найширше застосовують у промислових і житлових будівлях розрізні балкові ферми, найпростіші для виготовлення та монтажу.

Геометрична схема ферми характеризується обрисом поясів і видом решітки.

За обрисами поясів розрізняють кроквяні ферми:

- з паралельними поясами (рис. 1, д);
- трапецієподібні (рис. 1, а);
- трикутні (рис. 1, в);
- сегментні (рис. 1, е).

Ферми з паралельними поясами й трапецієподібні – найбільш прості за конструктивною формою і виготовленням. Ці властивості й визначають їх широке застосування у виробничих та житлових будівлях різного призначення. Незважаючи на високі техніко-економічні показники, їх застосовують переважно при прольотах 18...42 м, оскільки вони мають невелику будівельну висоту порівняно з фермами інших обрисів.

Ферми трикутного обрису мають найбільшу висоту, застосовують їх при прольотах не більше 36 м. Це зумовлене, в першу чергу, використанням дрібнорозмірних покрівельних матеріалів – плоских і хвилястих азбестоцементних листів, покрівельної сталі різної конфігурації, черепиці, які потребують нахилу покриття в межах 25...45°.

За витратами сталі найбільш економічними є *сегментні ферми*, проте вони, як і трикутні, мають суттєві недоліки: велику трудомісткість, зумовлену різними довжинами решітки та криволінійністю верхнього поясу.

Статична незмінність ферми досягається застосуванням решітки, що утворює систему трикутників. Решітка ферми працює на поперечну силу і виконує функції стінки суцільної балки. Від системи решітки залежать власна маса ферми, трудомісткість її виготовлення та зовнішній вигляд.

Найбільш поширеною є трикутна решітка, оскільки її загальна довжина і кількість вузлів менші, ніж у фермах з іншими типами решіток. Рациональний кут нахилу решітки до нижнього поясу становить 45...50°. Недоліком трикутної решітки є значна довжина панелей поясів, особливо при великих прольотах ферм. Розкісну решітку використовують найбільш ефективно у невисоких фермах. Особливість такої решітки полягає в тому, що від напрямку її до опори є можливість регулювати знаки зусиль. Кути нахилу розкісної решітки до нижнього поясу в межах 35...45° є економічнішими і сприятливими для роботи розкосів.

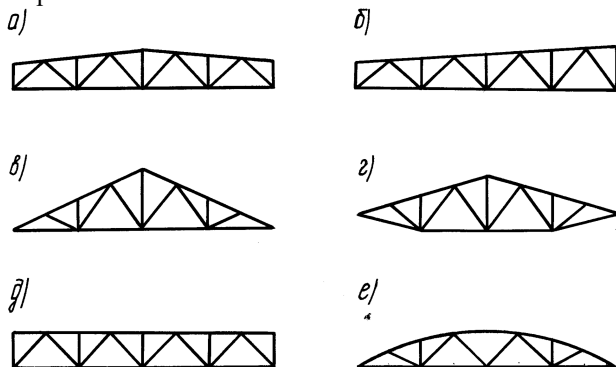


Рисунок 1 – Типи кроквяних ферм за обрисом поясів

У фермах з паралельними поясами і трапецієподібних доцільно проектувати розкоси спадними від опори, тоді вони будуть розтягнуті, а короткі стояки решітки – стисненими. Для ферм

трикутного й сегментного обрису, навпаки, в розкосах решітки спадні елементи стиснені, а вихідні розтягнені. Незважаючи на це, при компонуванні решітки ферми часто проектують зі спадними розкосами, щоб зменшити їх довжину.

Хрестова решітка застосовується у фермах, які працюють на знакозмінне навантаження (рис. 2, д). У цьому випадку розкоси решітки працюють тільки на розтяг. При виникненні в одному з розкосів стиску він відключається, працює другий розкіс, в якому діє розтяг. Різновидом трикутної решітки є ромбоподібна решітка, особливість якої – висока жорсткість й міцність під дією великих поперечних сил.

У міжповерхових перекриттях, коли простір між верхнім і нижнім поясами використовується з експлуатаційною метою, застосовують безроскісні ферми. Недоліком таких ферм є наявність значних згинальних моментів у поясах і стояках, що зумовлює зростання витрат сталі.

При великій висоті ферм і раціональному куті нахилу розкосів ($35...45^\circ$) панелі верхнього поясу ферми мають великі розміри, які невідгідні для розміщення прогонів та плит. У таких панелях ферм виникають місцеві згинальні моменти за рахунок позаузлового прикладання навантаження. Довжину панелей верхнього поясу можна зменшити шляхом введення в основну решітку ферми спеціальних шпренгелів, що призводить також до зменшення розрахункової довжини розкосів у площині ферми (рис. 2, г).

Генеральними розмірами ферми є проліт і висота. Проліт кроквяних ферм виробничих будівель, як правило, приймають кратним модулю 6м, тобто 18, 24, 30, 36 та 42 м. Для спрощення виготовлення і проектування уніфіковані типові сталеві ферми мають стандартні геометричні схеми для різних прольотів. Довжина панелі верхнього поясу в типових фермах дорівнює 3 м.

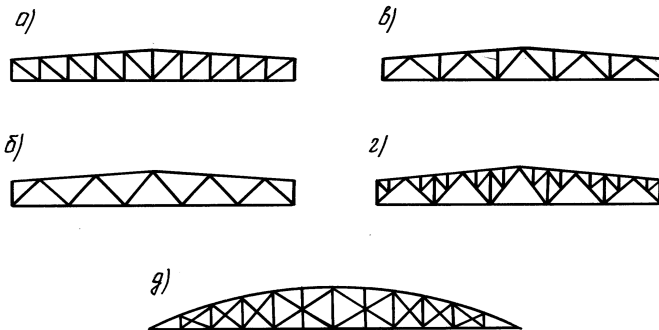


Рисунок 2 – Види системи решітки

Оптимальна висота h_{opt} у середині прольоту трапецієподібної ферми визначається з умови мінімальної власної маси і жорсткості (прогину), а також можливості транспортування. Маса ферм мінімальна, коли маси поясів і решітки (з фасонками) рівні між собою, що спостерігається при великих співвідношеннях висоти ферми та прольоту. Така велика висота кроквяних ферм невігідна через умови транспортування і монтажу, оскільки в цьому разі ферму доводиться перевозити окремими елементами і на місці монтажу виконувати поелементно складання, внаслідок чого зростають витрати часу та вартість.

На практиці висоту ферми в середині прольоту приймають з умови транспортабельності меншою за оптимальну, щоб ферму можна було легко перевозити.

Практично висоту трапецієподібної ферми і ферми з паралельними поясами приймають в межах $\frac{1}{6} \div \frac{1}{12}$ прольоту ферми.

Це дає змогу поділити ферму на дві (іноді на три) відправкові марки, які б відповідали вимогам залізничних габаритів (найбільший розмір марки за висотою не повинен перевищувати 3,8 м, а за шириною – 3,2 м.) У типових фермах для всіх прольотів від 18 до 36 м висота на опорі прийнята для трапецієподібних – 2 200 мм, а для ферм з паралельними поясами – 3 150 мм. Висота трикутних ферм зумовлена нахилом покрівлі, під який вона проектується, і становить 1/2–1/4 прольоту.

3 РОЗРАХУНОК ФЕРМ

Розрахунок балкових ферм виконують у такій послідовності:

- встановлення розрахункової схеми ферми;
- визначення і збір навантаження;
- визначення розрахункових зусиль в елементах ферми;
- підбір поперечних перерізів розтягнутих та стиснутих елементів;
- складання загальної таблиці зусиль, поперечних перерізів і напружень в елементах ферми;
- розрахунок вузлових з'єднань ферми, в тому числі монтажних стиків.

3.1 Розрахункова схема ферми

Розрахункова схема ферми має вигляд осьових ліній стержнів, вузлові з'єднання яких умовно шарнірні. З'єднання у вузлах жорстке, проте якщо відношення висоти поперечного перерізу стержня до його довжини $\frac{h}{l} \leq \frac{1}{15}$, додаткові напруження, зумовлені жорсткістю вузла, можна не враховувати.

3.2 Збір навантажень на ферму

Кроквяні ферми розраховують на такі види навантажень, які передаються у вигляді зосереджених сил у вузлах ферми:

- постійне навантаження від маси покрівлі й власної маси конструкцій;
- тимчасове навантаження від снігу, вітру й підвісного підйомно-транспортного встаткування, підвісних комунікацій, електроосвітлювальних установок, вентиляторів, галерей.

Основними при розрахунках кроквяних ферм є постійне й снігове навантаження. Навантаження від вітру викликає в елементах ферми, як правило, зусилля протилежного знака в порівнянні із зусиллями від ваги покриття й снігу. Тому при розрахунках ферм вітрове навантаження слід урахувувати в тому випадку, якщо його значення перевищує вагу покриття (при легких покрівлях і в районах з підвищеним вітровим навантаженням), а також при ухилі покрівлі більш 30°. При розрахунках ферм вітрове навантаження на ліhtar не береться до уваги.

У випадку кріплення стінових панелей до опорної стійки вітрове навантаження прикладають до поясів ферм.

Більшість навантажень рівномірно розподілені, їх підраховують спочатку на один квадратний метр, потім визначають площу навантаження, яка припадає на один вузол, і вже після цього знаходять зосереджену силу, прикладену в кожному вузлі.

Постійні навантаження, що діють на ферму, складаються з ваги покрівлі, кроквяної ферми, зв'язків по покриттю, прогонів і ін.

Вага покрівлі визначається підсумовуванням її окремих шарів.

$$q_{покp}^{xap} = \left(\frac{q^{xap}}{1000} + \frac{0.018}{B} \right) \alpha \cdot L \quad (1)$$

де q^{xap} – сумарне характеристичне рівномірно розподілене навантаження від власної ваги покриття й снігу, технологічного встаткування й ін., кН/м²;

B – крок кроквяних ферм, м;
 L – проліт кроквяної ферми, м;
 α – коефіцієнт, що залежить від типу ригеля й марки сталі:
 $\alpha = 1,4$ – для маловуглецевих сталей, $\alpha = 1,3$ – для низьколегованих сталей.

Збір постійних навантажень рекомендується проводити в табличній формі (табл.1).

Таблиця 1 – Постійне навантаження на ферму

Найменування навантаження	Характеристичне навантаження, кН/м ²	γ_f	Експлуатаційне навантаження, кН/м ²

Вузлове постійне навантаження на ферму (кН) збирається з вантажної площі, рівної відстані між фермами, помноженому на розмір панелі верхнього пояса

$$P_{вуз}^{хар} = \left(q_f + \frac{q_{покp}}{\cos\beta} \right) \cdot B \cdot d, \quad (2)$$

де q_f – власна вага ферми та зв'язків, кН/м²;

$q^{покp}$ – власна вага покрівлі, кН/м²;

B – крок кроквяних ферм, м;

d – довжина панелі верхнього поясу ферми, м;

β – кут нахилу верхнього пояса до обр'їю.

Снігове навантаження залежить від снігового району, у якому проектується будинок, від профілю покриття, наявності ліхтарів, кількості прольотів, розміру ухилу покрівлі. Експлуатаційне розрахункове навантаження від маси снігу на 1 м² знаходимо за формулою

$$s = \gamma_{fe} s_0 C, \quad (3)$$

де γ_{fe} – коефіцієнт надійності за експлуатаційним значенням снігового навантаження, визначається згідно з п. 8.12 [1];

s_0 – характеристичне значення снігового навантаження, яке залежить від району будівництва і приймається згідно з п. 8.5 [1];

C – коефіцієнт, що визначається згідно з п. 8.6 [1];

Зосереджене навантаження на вузол ферми від снігу також знаходять, перемножуючи розрахункове снігове навантаження на площу, що стосується даного вузла.

$$S_{вуз}^{xap} = S \cdot B \cdot d \quad (4)$$

3.3 Розробка розрахункової схеми

Розрахункову схему кроквяних ферм із парних куточків ухвалюють у вигляді стрижневої системи із шарнірними вузловими з'єднаннями. При розрахунках легких ферм передбачається, що осі всіх стрижнів прямолінійні, розташовані в одній площині й перетинаються у вузлі в одній крапці (у центрі вузла).

Якщо осі стрижнів ферми не перетинаються в одній крапці, то елементи ферми слід розраховувати з обліком відповідних згинальних моментів. Вузлові моменти розподіляють пропорційно погонної твердості елементів, що примикають до вузла. Ексцентриситети у вузлах, за винятком опорних, допускається не враховувати, якщо вони не перевищують у фермах з парних куточків 5 % висоти пояса.

Моменти від зсуву осей поясів ферм при зміні перетинів допускається не враховувати, якщо цей зсув не перевищує 1,5 % висоти пояса.

3.4 Визначення розрахункових зусиль

Використання програмного забезпечення дає змогу розраховувати практично будь-яку схему ферми. ПК при заданому навантаженні визначає розрахункові зусилля у стержнях з урахуванням об'єднання навантажень, а також може підібрати перерізи стрижнів.

Одним з найзручніших та найпростіших у використанні способів визначення розрахункових зусиль у стержнях ферми на наш погляд є виконання розрахунків за допомогою програмного комплексу SCAD Office постпроцесор Кристал.

Розрахунково-графічною роботою не передбачено виконання статичного розрахунку кроквяної ферми в цілому, а лише визначення розрахункових зусиль в окремих типових вузлах. При тому, ці вузли є статично визначеними, тобто визначення розрахункових зусиль в елементах можливе одним з відомих методів будівельної механіки (наприклад методом вирізання вузлів).

4 КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ФЕРМИ

Конструктивний розрахунок ферми включає три етапи:

- визначення розрахункових довжин елементів ферми;
- добір перерізів елементів ферми;
- проектування вузлів ферми.

4.1 Розрахункові довжини елементів ферми

Стержні ферм працюють переважно на поздовжні зусилля стиску або розтягу. Для стиснутих стержнів суттєве значення має гнучкість

$$\lambda_{ef} = \frac{l_{ef}}{i_{\min}} \qquad \lambda_{ef,1} = \frac{l_{ef,1}}{i_{\min}} \qquad (5)$$

від якої залежить стійкість при поздовжньому згині. Звідси випливає, що несуча здатність стиснутого стержня також залежить від його розрахункової довжини

$$l_{ef} = \mu \cdot l, \qquad (6)$$

де l – геометрична довжина; μ – коефіцієнт, що враховує спосіб закріплення кінців стержня; i_{\min} – мінімальний радіус інерції.

Оскільки наперед невідомо, в якому напрямку вигнеться стержень під час втрати стійкості, необхідно знати розрахункову довжину і стійкість як у площині ферми, так і в напрямку, перпендикулярному до площини ферми, тобто з площини. Міцність розтягнених стержнів не залежить від їх довжини, проте занадто довгі й тонкі стержні можуть провисати під власною масою, а також деренчати або коливатись під дією другорядних сил. Розрахункову довжину стержнів плоских ферм та їх гнучкість не повинна перевищувати вимог, які наведені в таблицях 2–4 [1].

Таблиця 2 – Розрахункові довжини елементів плоских ферм і в'язей

Напрямок поздовжнього згину ферми	Розрахункові довжини l_{ef} і $l_{ef,1}$		
	поясів	опорних розкосів і опорних стояків	решти елементів решіток
1	2	3	4
1. У площині ферми l_{ef}			
а) для ферм, окрім зазначених у позиції 1,б)	l	l	$0.8l$
б) для зварних ферм, елементи яких виконані з одиничних кутиків, і ферм із прикріпленням елементів решітки до поясів впритул	l	l	$0.9l$
2. У напрямку перпендикулярному до площини ферми (з площини ферми) $l_{ef,1}$:			
а) для ферм, окрім зазначених у позиції 2,б)	l_1	l_1	l_1
б) для ферм 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	$0.85 l$

Таблиця 3 – Гранична гнучкість розтягнутих елементів

Елементи конструкцій	Гранична гнучкість розтягнутих елементів λ_{cr} при дії на конструкцію навантажень		
	динамічних	статичних	від кранів
1	2	3	4
1. Пояси опорні розкоси плоских ферм (включаючи гальмові ферми) і структурних конструкцій	250	400	250
2. Елементи ферм і структурних конструкцій, окрім зазначених у позиції 1	350	400	300
3. Нижні пояси балок і ферм кранових колій	–	–	150
4. Елементи вертикальних в'язей між колонами (нижче кранової колії)	300	300	200
5. Інші елементи в'язей	400	400	300
6. Пояси і опорні розкоси стовпів і траверс, тяги траверс опор повітряних ліній електропередавання, відкритих розподільних пристроїв	250	–	–
7. Елементи опор повітряних ліній електропередавання, відкритих розподільних пристроїв і контактних мереж транспорту, окрім зазначених у позиціях 6 і 8	350	–	–
8. Елементи просторових конструкцій таврового і хрестового перерізів (а в тягах траверс опор повітряних ліній електропередавання – з одиночних кутиків), що підлягають впливу вітрових навантажень, при перевірці гнучкості у вертикальній площині	150	–	–

Примітка 1. У конструкціях, що не підлягають динамічним впливам, гнучкість розтягнутих елементів слід перевіряти лише у вертикальних площинах.

Примітка 2. Для елементів в'язей, у яких прогин під дією власної ваги не перевищує $l/150$, при дії на конструкцію, статичних навантажень допускається приймати $\lambda_{и}=500$.

Примітка 3. Гнучкість розтягнутих елементів попередньо напружених елементів не обмежується.

Примітка 4. Для розтягнутих елементів, в яких можна змінювати знак зусилля, гранична гнучкість приймається як для стиснутих елементів, при цьому з'єднувальні прокладки в елементах складеного перерізу необхідно встановлювати з кроком, що не перевищує $40L$.

Примітка 5. За наявності мостових опорних кранів груп режимів роботи 7К (у цехах металургійних виробництв) і 8К значення граничної гнучкості і приймається відповідно до ГОСТ 25546.

Примітка 6. Для нижніх поясів балок ферм кранових колій при кранах груп режимів роботи 1К–6К допускається приймати $\lambda_{и}=200$.

Примітка 7. До динамічних навантажень, прикладених безпосередньо до конструкції, належать навантаження, які приймаються в розрахунках на витривалість або з урахуванням коефіцієнта динамічності.

Таблиця 4 – Гранична гнучкість стиснутих елементів

Елементи конструкцій	Гранична гнучкість стиснутих елементів $\lambda_{и}$
1. Пояси, опорні розкоси і стояки, що передають опорні реакції: а) плоских ферм, структурних конструкцій і просторових конструкцій із труб або парних кутиків заввишки до 50м;	180–60 α
б) просторових конструкцій з одиночних кутиків, а також просторових конструкцій із труб і парних кутиків заввишки понад 50 м	120
2. Елементи, окрім зазначених у позиції 1 і 7: а) плоских ферм, зварних просторових і структурних конструкцій із одиночних кутиків, просторових і структурних конструкцій із трубі парних кутиків;	210–60 α
б) просторових і структурних конструкцій із одиночних кутиків з болтовими з'єднаннями	220–40 α
3. Верхні пояси ферми, не закріплені у процесі монтажу (граничну гнучкість після завершення монтажу слід приймати за позицією 1)	220
4. Основні колони	180–60 α
5. Другорядні колони (стояки фахверку, ліхтарів тощо), елементи решітки колон, елементи вертикальних в'язей між колонами (нижче балок колій)	210–60 α
6. Елементи в'язей. Окрім зазначених у позиції 5, а також стрижні, призначені для зменшення розрахункової довжини стиснутих елементів, та інші ненавантажені елементи, окрім зазначених у позиції 7	150
7. Стиснуті і ненавантажені елементи просторових конструкцій таврового і хрестового перерізу, що поділяють дії вітрових навантажень, при перевірці гнучкості у вертикальній площині	150
Примітка. α коефіцієнт, який приймається не меншим 0,5	

4.2 Добір перерізів елементів ферми

Після визначення розрахункових зусиль проводиться добір перерізів елементів ферми. При цьому необхідно дотримуватися наступних рекомендацій:

- не слід використовувати в одній конструкції ферми перерізи стрижнів одного розміру, але різних толщин або марок сталей;

- для зручності комплектування металу кількість калібрів профілів, прийнятих у фермі, обмежується: при прольоті ферми $L < 36$ м рекомендується ухвалювати 5–6 різних калібрів, при $L > 36$ м – 7;

- для запобігання ушкодження стрижнів при транспортуванні й монтажі, а також з умови забезпечення якості зварювання й підвищення корозійної стійкості, мінімальний профіль куточків для ферм призначають: рівнобоких $50 \text{ мм} \times 5 \text{ мм}$, нерівнобоких $63 \text{ мм} \times 40 \text{ мм} \times 5 \text{ мм}$;

- для зниження витрати сталі доцільно найбільш навантажені елементи ферм (пояса, опорні розкоси) проектувати зі сталі підвищеною міцності, а інші елементи – зі звичайної сталі.

Стрижні легких ферм працюють у відносно сприятливих умовах, тому для них впливає застосовувати сталі напівспокійною виплавки. Фасонки ферм працюють у складних умовах (наявність зварювальних напруг, концентрація напруг поблизу швів, пласке поле розтягувальних напруг), що підвищує небезпеку крихкого руйнування й вимагає застосування більш якісної спокійної сталі.

Стержні ферм працюють в основному на центральний стиск або розтяг, тому їхній поперечний переріз доцільно приймати рівностійким у площинах головних осей.

Для ферм найбільш характерними є перерізи, складені з двох рівнополічкових або нерівнополічкових кутників, швелерів або прямокутних труб. Для більшої стійкості верхнього стиснутого поясу ферм доцільно використовувати нерівнополічкові кутники, встановлюючи ширші полицки в горизонтальній площині.

Поперечний переріз усіх елементів ферм може бути виконаний з поодиноких кутників. Останнім часом у будівництві застосовують легкі ферми, виконані повністю з рівнополічкових поодиноких кутників. У таких ферм витрати сталі такі ж, як і у звичайних фермах, але трудомісткість виготовлення менша за рахунок меншої кількості деталей. Окрім цього, такі ферми мають більш високу корозійну стійкість і тому використовуються у приміщеннях з агресивним середовищем.

Порівняно з новими конструктивними рішеннями ферм з ефективних прокатних, гнутих і гнutoзварних профілів ферми з парних кутників мають більшу масу та трудомісткість виготовлення, тому останнім часом менше застосовуються у практиці. Найбільш економічними за витратами сталі є ферми з круглих електрозварних труб, проте вони більш трудомісткі у виготовленні, ніж ферми з прямокутних труб і поодиноких кутників. Стержні ферм з алюмінієвих сплавів виконують аналогічно до сталевих.

4.3 Розрахунок елементів сталевих конструкцій при центральному розтягу і стиску

Розрахунок на міцність елементів зі сталі з характеристичним опором $R_{ym} \leq 440$ Н/мм² при центральному розтягу слід виконувати за формулою:

$$\frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1. \quad (7)$$

Розрахунок на міцність розтягнутих елементів зі сталі з відношенням $R_u / \gamma_u > R_y$, експлуатація яких можлива і після досягнення металом границі текучості, а також елементів зі сталі з характеристичним опором $R_{ym} > 440$ Н/мм² слід виконувати за формулою (1.1) із заміною значення R_y на R_u / γ_u .

Розрахунок на стійкість елементів суцільного перерізу при центральному стиску:

$$\frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (8)$$

де φ – коефіцієнт стійкості при центральному стиску, значення якого при $\lambda \geq 0,4$ необхідно обчислювати за формулою:

$$\varphi = \frac{0,5}{\lambda} \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \lambda^{-2}} \right). \quad (9)$$

Значення коефіцієнта δ у формулі (9) слід обчислювати за формулою:

$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta \lambda^2) + \lambda^2, \quad (10)$$

де α і β – коефіцієнти, що характеризують початкові неправильності форми та залишкові напруження і визначаються за таблицею 6

залежно від типу поперечного перерізу стрижня та типу кривої стійкості a , b та c , які наведені на рисунку 3;

Значення коефіцієнтів φ , які обчислюються за формулою (9) слід приймати не більше ніж $7,6/\lambda^2$ для типу:

- кривої стійкості a при $\lambda > 3,8$;
- кривої стійкості b при $\lambda > 4,4$;
- кривої стійкості відповідно c при $\lambda > 5,8$;

При значеннях $\lambda < 0,4$ для всіх типів кривої стійкості допускається приймати $\varphi=1,0$. Значення коефіцієнтів наведені у таблиці 7.

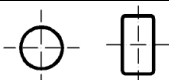
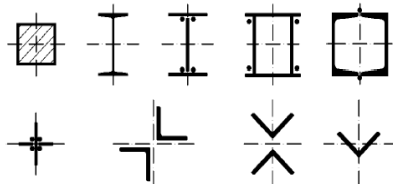
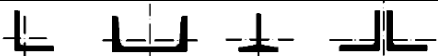
Таблиця 5 – Коефіцієнти умов роботи γ_c

Елементи конструкцій	Коефіцієнти умов роботи γ_c
1	2
1. Балки суцільного перерізу і стиснуті елементи ферм перекриттів під залами театрів, клубів, кінотеатрів, під трибунами, під приміщеннями магазинів, книгосховищ і архівів тощо при тимчасовому навантаженні, що не перевищує ваги перекриття	0,90
2. Колони громадських споруд і опор водонапірних башт	0,95
3. Колони одноповерхових виробничих споруд із мостовими кранами	1,05
4. 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 $\lambda \geq 60$	0,80
5. Затяжки, тяги, відтяжки, підвіски при розрахунку на міцність у перерізі без послаблень	0,90
6. Перерізи елементів конструкцій за сталі з границею текучості до 440 Н/мм^2 , що несуть статичне навантаження, при розрахунку на міцність у перерізі, послабленому отворами для болтів (окрім фрикційних з'єднань):	
– суцільних балок і колон	1,10
– стрижневих конструкцій покриттів та перекриттів	1,05

Продовження таблиці 5

1	2
7. Стиснуті елементи решітки просторових решітчастих конструкцій, виконані з одиночних рівно полицькутиків згідно з рисунком 13.3, які прикріплюються однією полицею (для нерівно полицькутиків – більшою полицею): а) безпосередньо до поясів за допомогою зварних швів або вдох болтів і більше, які встановлені вздовж кутика	0,90
б) безпосередньо до поясів за допомогою одного болта або через фасонку незалежно від виду з'єднання	0,75
8. Елементи плоских ферм з одиночних кутиків, стиснуті елементи, виконані з одиночних кутиків, які прикріплюються з однією полицею (для нерівно полицькутиків – меншою полицею), за винятком елементів, наведених у позиції 7 цієї таблиці	0,75
9. Опорні плити, виконані зі сталі з границею текучості до 390 Н/мм ² , що несуть статичне навантаження, товщиною, мм: а) до 40 включно:	1,20
б) понад 40 до 60 включно:	1,15
в) понад 60 до 80 включно:	1,10

Таблиця 6 – Значення коефіцієнтів α і β

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

Таблиця 7 – Коефіцієнти стійкості при центральному стиску

Умовна гнучкість λ	Коефіцієнт ϕ для типів кривих стійкості			Умовна гнучкість λ	Коефіцієнт ϕ для типів кривих стійкості		
	a	b	c		a	b	c
1	2	3	4	5	6	7	8
0.4	999	998	992	5.4	261	261	255
0.6	994	986	950	5.6	242	242	240
0.8	981	967	929	5.8	226	226	226
1.0	968	948	901	6.0	211		
1.2	954	827	878	6.2	198		
1.4	938	905	842	6.4	186		
1.6	920	881	811	6.6	174		
1.8	900	855	778	6.8	164		
2.0	877	826	744	7.0	155		
2.2	851	794	709	7.2	147		
2.4	820	760	672	7.4	139		
2.6	785	722	635	7.6	132		
2.8	747	683	598	7.8	125		
3.0	704	643	562	8.0	119		
3.2	660	605	526	8.5	105		
3.4	615	562	492	9.0	094		
3.6	572	524	460	9.5	084		
3.8	530	487	430	10.0	076		
4.0	475	453	401	10.5	069		
4.2	431	421	375	11.0	063		
4.4	393	392	351	11.5	057		
4.6	359	359	328	12.0	053		
4.8	330	330	308	12.5	049		
5.0	304	304	289	13.0	045		
5.2	281	281	271	14.0	039		

Примітка. Наведені у таблиці значення коефіцієнта ϕ збільшені в 1 000 разів.

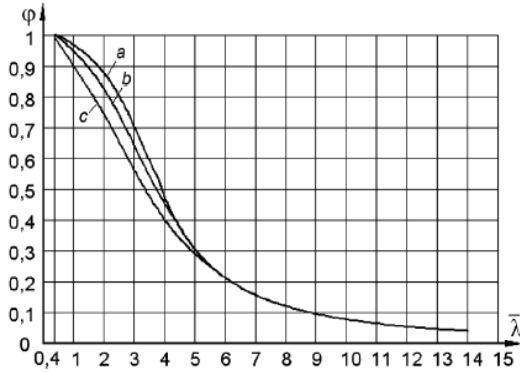


Рисунок 3 – Криві стійкості a, b, в

5 РОЗРАХУНКИ Й КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ ФЕРМИ

Зварні шви, які з'єднують окремі стержні решітки з фасонкою у вузли, розраховують на значення зусилля в даному стержні. Зварні шви, які прикріплюють фасонку до верхнього і нижнього поясів, розраховують на різницю зусиль у суміжних панелях поясу.

Якщо в стержні решітки діє розрахункове зусилля N , а переріз складається з двох кутників, то на кожний кутник припадає зусилля $N_1 = 0,5N$. Це зусилля, як і зусилля у фермах з поодинокими кутниками, повинно сприйматися зварними швами, що з'єднують кутник з фасонкою. Можливі два варіанти прикріплення кутників до фасонки у вузлах. У першому варіанті прикріплення передбачається лише фланговими швами з можливим виведенням їх на 20 мм на торець кутника. У другому варіанті для прикріплення застосовують лобові й флангові шви.

У першому випадку шов обушка кутника розраховують на зусилля

$$N^{об} = (b - z_0)N_1, \quad (11)$$

а шов пера кутника – на зусилля

$$N^{пер} = z_0N_1, \quad (12)$$

де b – висота полиці кутника;

z_0 – відстань до центру ваги кутника.

У другому випадку спочатку визначають зусилля, яке сприймається лобовим швом, тобто

$$N^{лоб} = \gamma_c k_f^{лоб} I_w^{лоб} (R_{wf} \gamma_{wf} B_{wf}), \quad (13)$$

де R_{wf} – розрахунковий опір зварного шва;

γ_{wf}, β_{wf} – коефіцієнти, які залежать від виду зварювання.

Решта зусилля

$$N_2 = N_1 - N^{lob}, \quad (14)$$

розподіляється між фланговими швами кутника, як у першому випадку.

Висоту зварюваного шва (катет) доцільно приймати в залежності від мінімальної товщини з'єднаних елементів:

$$\begin{aligned} k_f^{obush} &= 1,2 \cdot t_{\min}; \\ k_f^n &= 0,8 \cdot t_{\min}; \end{aligned} \quad (15)$$

Довжина зварних швів має бути не менше 40 мм і визначається як:

$$l_w^{ob} = \frac{N \cdot (b - z_0)}{4 \cdot b \cdot \beta_f \cdot k_f^{ob} \cdot \gamma_{wf} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} + 1; \quad (16)$$

$$l_w^n = \frac{N \cdot z_0}{4 \cdot b \cdot \beta_f \cdot k_f^n \cdot \gamma_{wz} \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c} + 1. \quad (17)$$

Шов кріплення верхнього поясу до фасонки розраховується на зусилля у верхньому поясі, яке визначається як:

$$N = \sqrt{(N_2 - N_1)^2 + P^2}, \quad (18)$$

де N_1, N_2 – зусилля у суміжних панелях верхнього поясу;

P – вузлове навантаження на верхній пояс ферми.

Число різних по товщині швів на всю ферму не повинно перевищувати 3 або 4. В одному вузлі бажано мати не більше двох типорозмірів швів. Отримані розрахунком довжини зварних швів округлюють у більшу сторону до 10 мм.

5.1 Особливості конструювання ферм із парних кутників

У фермах з парних куточків стрижні у вузлах поєднуються за допомогою фасонки, розташованих між куточками. Куточки до фасонкам кріпляться за допомогою зварювання, рідше на болтах.

При розрахунках вузлів зварених ферм із парних куточків визначаються розміри й катети зварених швів і призначаються габарити фасонки. Заводські зварені з'єднання елементів ферм рекомендується

виконувати напівавтоматичним зварюванням, на монтажі допускається застосування ручного зварювання.

Конструювання ферми слід починати із креслення осьових ліній елементів, що сходяться у вузлах. Осьові лінії стрижнів повинні збігатися із центрами ваги перерізів. Для куточків прив'язки осей необхідно округлити до 5 мм. У фермах з болтовими з'єднаннями осі слід прив'язати по ризиках.

При наявності розцентрування стрижнів у вузлах, необхідно при розрахунках ферми врахувати додатковий вузловий момент.

У тому випадку, коли переріз пояса по довжині ферми міняється, у геометричній схемі допускається виконувати центрування елементів пояса по середній осьовій лінії. Для зручності обпирання елементів, що примикають (прогонів, плит покриття, настилів) верхню грань пояса зберігають на одному рівні. Якщо при цьому взаємний зсув осей центрів ваги перевищує (H – менша висота перетину пояса), то при розрахунках необхідно врахувати додатковий момент. Різання стрижнів ґраток здійснюється під прямим кутом, для великих стрижнів можна допустити косе різання для зменшення розмірів фасонки. Два куточки для забезпечення їх спільної роботи з'єднують по довжині прокладками. Відстань між прокладками повинна бути: не більш $40 i$ для стислих елементів і $80 i$ для розтягнутих (i – радіус інерції одного куточка щодо осі, паралельній прокладці). При цьому в стислих елементах ставиться не менш двох прокладок.

З умови розміщення зварених швів ширина, прокладок ухвалюється рівною $e_{np} = 60 - 100$ мм, довжина $l_{np} = b_{кут} + (20...30)$ мм), товщина прокладки дорівнює товщині фасонки. По можливості число типорозмірів прокладок слід ухвалювати мінімальним.

Під час проектування стержні ферм центрують у вузлах на осях, які проходять через центри їх маси з округленням до 5 мм. Осьові лінії стержнів ферм у вузлах повинні сходитися в одній точці, інакше у вузлі виникне додатковий момент $M = N \cdot e$, який буде згинати стержні, що сходяться у вузлі.

Для зменшення зварних напружень у вузлах ферм з листовими фасонками стержні решітки не доводяться до поясів на відстань $a = 6t$, але не більше 80 мм; t – товщина фасонки.

Між торцями з'єднуваних елементів поясів ферм залишається відстань не менше 50 мм.

Товщину фасонки усіх вузлів доцільно приймати постійною залежно від розрахункового зусилля в опорному розкосі (табл. 8).

Таблица 8 – Призначення товщини фасонки

Зусилля в опорному розкосі (стойкі), кН	До 200	200 до 450	450 до 750	750 до 1150	1150 до 1500
Товщина фасонки, мм	8	10	12	14	16

У розрахунково-графічній роботі конструювання вузлів ферми виконується за допомогою програмного комплексу SCAD Office постпроцесор «Комета-2» з використанням даних, отриманих при розрахунку. Алгоритм використання постпроцесору «Комета-2» наведений на рисунках 4–10.

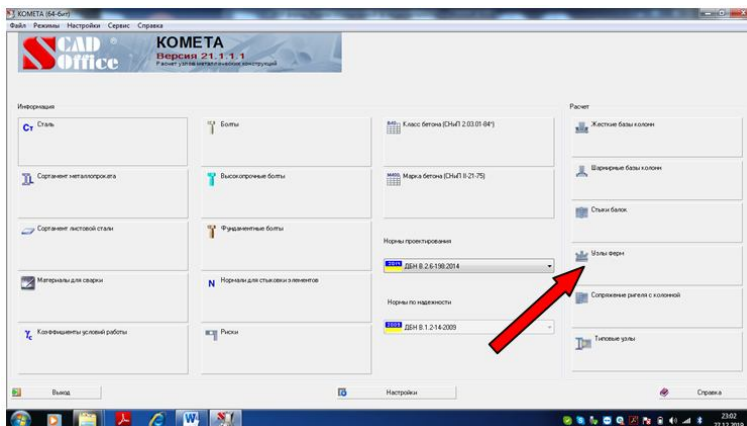


Рисунок 4 – Скріншот екрану інтерффейсу «Комета-2»

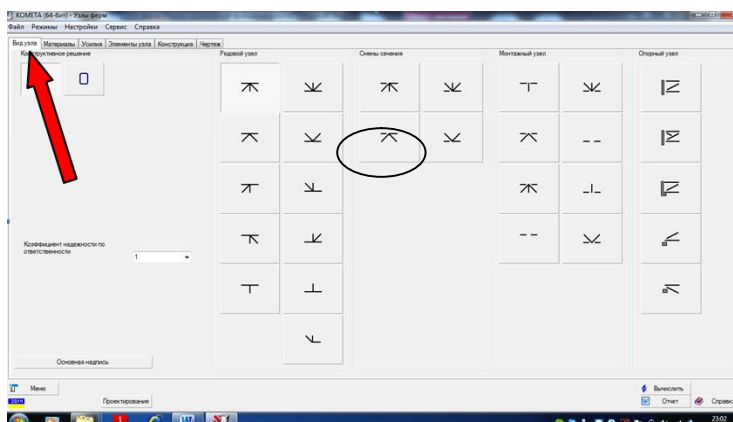


Рисунок 5 – Завдання даних у вкладці «Вид узла»

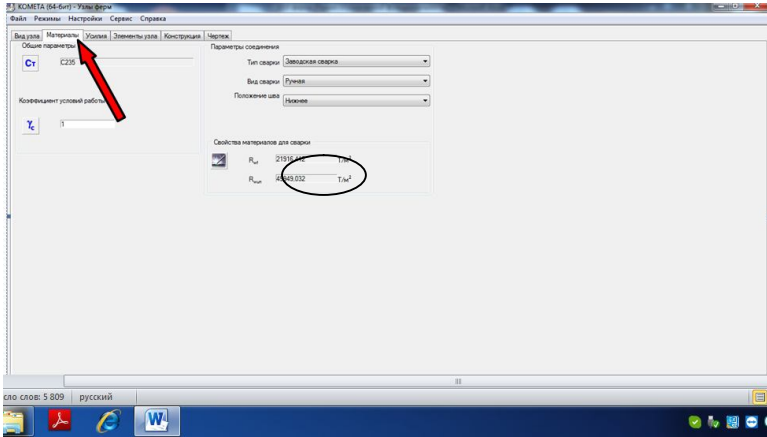


Рисунок 6 – Обір матеріалу та типу зварювання елементів

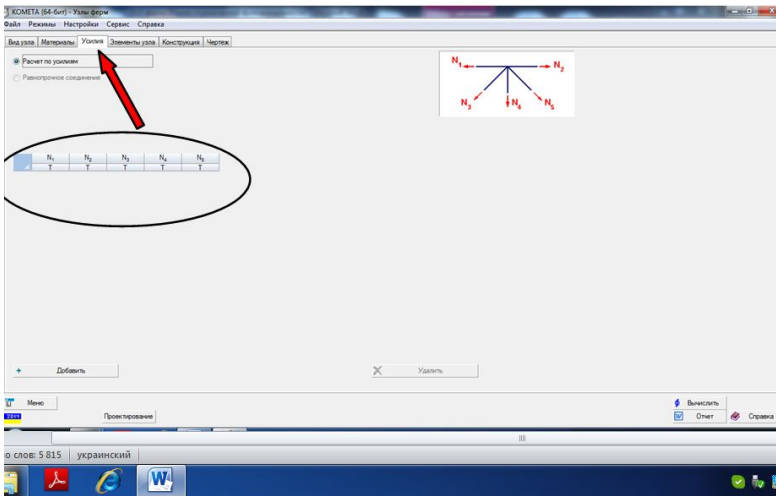


Рисунок 7 – Завдання діючих зусиль у вузлі

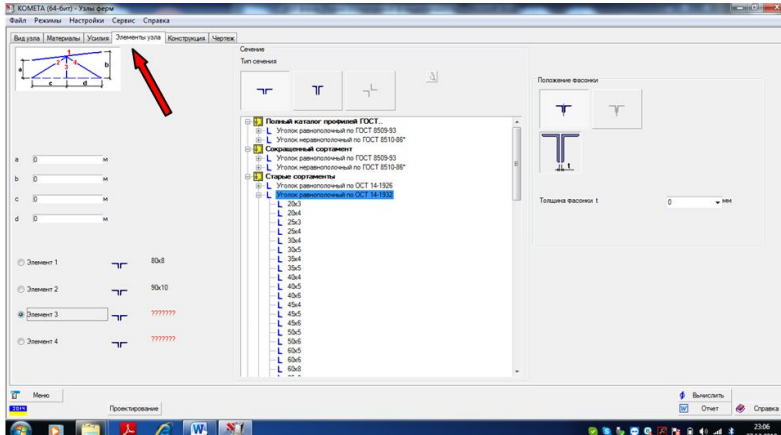


Рисунок 8 – Завдання геометричних довжин елементів та визначених розмірів профілів

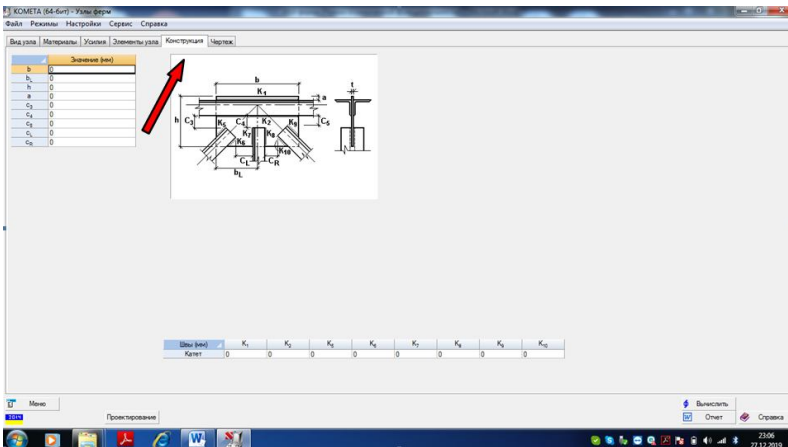


Рисунок 9 – Завдання конструктивних вимог при конструюванні та розрахунових параметрів зварюваних швів

6 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ РГР

Дані для виконання розрахунково-графічної роботи наведені в табл. 4 та рис.10

Таблиця 9 – Дані для виконання РГР

α_1^0	α_2^0	N_1 кН	N_2 кН	i	матеріал	$q_{покp}^{xap}$ кН/м ²	B М	d М	L_1 М	L_2 М	L_3 М	L_4 М	L_5 М
51	49	750	940	1:5	C245	10	6	3	3	3	3.6	3.8	2.5

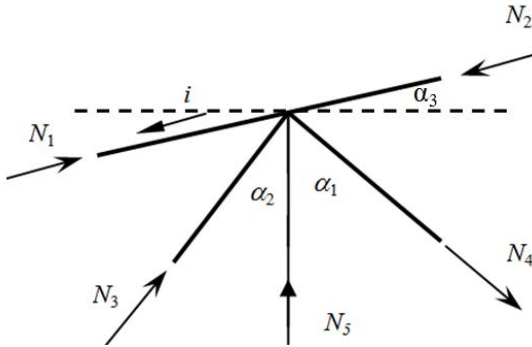


Рисунок 10 – Схема вузла верхнього пояса ферми

Визначаємо розрахункове вузлове навантаження:

$$N_5 = P_{вузл}$$

$$P_{вуз}^{xap} = \left(\frac{q_{покp}^{xap}}{\cos \beta} \right) \cdot B \cdot d$$

$$P_{вуз}^{xap} = \left(\frac{10}{0.9987} \right) \times 6 \times 3 = 180 \text{ кН}$$

$$P_{вуз}^{екс} = \gamma_f P_{вуз}^{xap}$$

$$\gamma_f = 1,15$$

$$P_{вуз}^{екс} = 1,15 \times 180 = 207 \text{ кН}$$

$$N_5 = P_{вузл}^{екс} = 207 \text{ кН}$$

Визначаємо невідомі зусилля, користуючись схемою вузла з урахуванням напрямку дії зусиль:

$$\sum x = N_1 \cos \alpha_3 - N_2 \cos \alpha_3 + N_3 \sin \alpha_2 + N_4 \sin \alpha_1 = 0 ;$$

$$\sum y = N_5 + N_3 \cos \alpha_2 - N_4 \cos \alpha_1 + N_1 \sin \alpha_3 + N_2 \sin \alpha_3 = 0;$$

$$N_4 = (N_5 + N_3 \cos \alpha_2 + N_1 \sin \alpha_3 + N_2 \sin \alpha_3) \cos \alpha_1.$$

Ухил верхнього пояса ферми $i = 1 : 5$.

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = 0,05; \alpha_3 = 2,9^0; \cos \alpha_3 = 0,9987; \sin \alpha_3 = 0,051;$$

$$\alpha_1 = 51^0; \cos \alpha_1 = 0,629; \sin \alpha_1 = 0,777;$$

$$\alpha_2 = 49^0; \cos \alpha_2 = 0,656; \sin \alpha_2 = 0,755.$$

$$\begin{aligned} N_4 &= \frac{207 + N_3 \times 0,656 + 750 \times 0,051 + 940 \times 0,051}{0,629} = \\ &= \frac{(293,7 + N_3 \times 0,656)}{0,629} = 467 + 1,043N_3 \end{aligned}$$

Підставивши N_4 , маємо:

$$N_1 \cos \alpha_3 - N_2 \cos \alpha_3 + (467 + 1,043N_3) \cdot \sin \alpha_1 + N_3 \sin \alpha_2 = 0;$$

$$750 \times 0,9987 - 940 \times 0,9987 + 352,6 + 0,787N_3 + 0,755N_3 = 0;$$

$$162,6 + 1,542N_4 = 0;$$

$$N_3 = -105,44 \text{ кН.}$$

Знак « \leftarrow » означає, що напрямок дії зусилля N_3 необхідно змінити на протилежний, тобто розкіс N_3 розтягнений.

$$N_4 = 467 + 1,043(-105,44) = 357 \text{ кН.}$$

6.1 Підбір перерізу стиснутого верхнього поясу $N_2 = 940$ кН

$$A^{номр} = \frac{N_2}{2 \cdot \varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c}$$

Користуючись таблицями 2, 4–7 визначаємо:

$$l_{ef} = l_{efl} = l = 300,4 \text{ см (з урахуванням ухилу верхнього поясу);}$$

$$\gamma_c = 0,8$$

$$\lambda_u = 120.$$

Згідно з табл.7 $\varphi = 0,562$

$$A^{номр} = \frac{940}{2 \times 0,562 \times 23 \times 0,8} = 45,45 \text{ см}^2$$

Приймаємо переріз з двох рівнобоких кутників $\perp 160 \times 14$ з

$$A^\phi = 43,57 \text{ см}^2$$

$$i_x = 4,9 \text{ см;}$$

$$i_y = 6,91 \text{ см;}$$

$$z_0 = 4,47 \text{ см.}$$

Робимо перевірки

$$\lambda_{\max} = \lambda_x = \frac{300,4}{4,9} = 61,21 < \lambda_u = 120 ;$$

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 61,21 \sqrt{\frac{23}{2,06 \times 10^4}} = 2,045$$

Згідно з табл.6 $\alpha = 0,04$ і $\beta = 0,14$, тоді

$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta \lambda^2) + \lambda^2 = 9,87(1 - 0,04 + 0,14 \times 2,45^2) + 2,045^2 = 19,97$$

$$\varphi = \frac{0,5}{\bar{\lambda}^2} \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \bar{\lambda}^2} \right) = \frac{0,5}{2,045^2} (19,97 - \sqrt{19,97^2 - 39,48 \cdot 2,045^2})$$

$$\varphi = 0,563$$

$$i_{ef}^{nomp} = i_{ef1}^{nomp} = \frac{l_{(ef,ef1)}}{\lambda} = 300,4 / 61 = 4,91 \text{ см.}$$

Виконуємо перевірку міцності прийнятого перерізу верхнього поясу ферми:

$$\sigma = \frac{940}{2 \times 0,563 \times 43,57 \times 23 \times 0,8} = 1,04 \geq 1$$

Маємо перенапруження прийнятого перерізу верхнього поясу ферми. Визначимо, чи є воно в межах норм:

$$\frac{1,04 - 1}{1,04} \times 100\% = 3,84 \leq [5\%]$$

Отже приймаємо переріз верхнього поясу з двох рівнобічних кутників $\perp 160 \times 14$.

6.2 Підбір перерізу стиснутої стійки $N_5 = 207$ кН

$$A^{nomp} = \frac{N_5}{2 \cdot \varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c}$$

Користуючись таблицями 2, 4–7 визначаємо:

$$l_{ef} = 0,8l = 0,8 \times 250 = 200 \text{ см;}$$

$$l_{ef1} = l = 250 \text{ см;}$$

$$\gamma_c = 0,8$$

$$\lambda_u = 120.$$

Приймаємо в першому наближенні $\lambda = 81$.

Згідно з табл. 7 $\varphi = 0,562$

$$A^{nomp} = \frac{207}{2 \times 0,562 \times 23 \times 0,8} = 10,01 \text{ см}^2$$

Приймаємо переріз з двох рівнобоких кутників $\perp 80 \times 7$ з

$$A^{\phi} = 10,85 \text{ см}^2$$

$$i_x = 2,45 \text{ см};$$

$$i_y = 4,11 \text{ см};$$

$$z_0 = 2,23 \text{ см}.$$

$$\lambda_{ef} = \frac{200}{2,45} = 81 < \lambda_u = 120; \quad \lambda_{ef1} = \frac{250}{4,11} = 61 < \lambda_u = 120$$

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 81 \sqrt{\frac{23}{2,06 \times 10^4}} = 2.71$$

Згідно з табл. 6 $\alpha = 0.04$ і $\beta = 0.14$, тоді

$$\delta = 9,87(1 - \alpha + \beta \lambda^2) + \lambda^2 = 9,87(1 - 0,04 + 0,14 \times 2,71^2) + 2,71^2 = 26,92$$

$$\varphi = \frac{0,5}{\lambda} \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \lambda} \right) = \frac{0,5}{2,71^2} \left(26,92 - \sqrt{26,92^2 - 39,48 \times 2,71^2} \right)$$

$$\varphi = 0,413$$

$$i_{ef}^{nomp} = i_{ef1}^{nomp} = \frac{l_{(ef,ef1)}}{\lambda} = 250 / 81 = 3,08 \text{ см}.$$

Виконуємо перевірку міцності прийнятого перерізу стійки:

$$\sigma = \frac{207}{2 \times 0,413 \times 10,85 \times 23 \times 0,8} = 1,26 \geq 1$$

Маємо перенапруження прийнятого перерізу, тому приймаємо більший номер профілю.

Приймаємо переріз з двох рівнобоких кутників $\perp 80 \times 10$ з

$$A^{\phi} = 15,14 \text{ см}^2$$

$$i_x = 2,42 \text{ см};$$

$$i_y = 4,13 \text{ см};$$

$$z_0 = 2,35 \text{ см}.$$

$$\lambda_{ef} = \frac{200}{2,42} = 82 < \lambda_u = 120; \quad \lambda_{ef1} = \frac{250}{4,13} = 60 < \lambda_u = 120$$

Тобто $\varphi = 0,413$

Виконуємо перевірку міцності прийнятого перерізу стійки:

$$\sigma = \frac{207}{2 \times 0,413 \times 15,14 \times 23 \times 0,8} = 0,9 \leq 1$$

Маємо недонапруження прийнятого перерізу. Визначимо, чи є воно в межах норм:

$$\frac{1-0,9}{1} \times 100\% = 10\% \geq [5\%]$$

Отже приймаємо переріз стійки N_5 з двох рівнобічних кутників $\perp 80 \times 10$.

6.3 Підбір перерізу розтягнутого елемента $N_3 = 105,44$ кН

$$l_{ef} = 0,8 \cdot l_3 = 0,8 \times 360 = 288 \text{ см};$$

$$l_{ef1} = l_3 = 360 \text{ см};$$

$$\lambda_{np} = 400;$$

$$\gamma_c = 1,1.$$

$$A^{номр} = \frac{N_3}{2 \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{105,44}{2 \times 23 \times 1,1} = 2,09 \text{ см}^2.$$

Розкіс виконуємо з двох рівнополічних кутників. Приймаємо з конструктивних вимог кутники 50×5 :

$$A^{\phi} = 4,8 \text{ см}^2$$

$$i_x = 1,53 \text{ см}; i_y = 2,45 \text{ см}; z_0 = 1,42 \text{ см}.$$

$$\sigma = \frac{105,44}{2 \times 4,8 \times 23 \times 1,1} = 0,434 \leq 1$$

$$A_n = A_{\phi} \text{ (переріз не має отворів)}$$

$$\lambda_{ef} = \frac{288}{1,53} = 188 < 400; \quad \lambda_{ef1} = \frac{360}{2,45} = 147 < 400.$$

Отже приймаємо переріз розкіса N_3 з двох кутників $\perp 50 \times 5$.

Підбір перерізу розтягнутого елемента $N_4 = 357$ кН

$$l_{ef} = 0,8 \cdot l_4 = 0,8 \times 380 = 304 \text{ см};$$

$$l_{ef1} = l_4 = 380 \text{ см};$$

$$\lambda_{np} = 400;$$

$$\gamma_c = 1,1.$$

$$A^{номр} = \frac{N_4}{2 \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{357}{2 \times 23 \times 1,1} = 7,06 \text{ см}^2.$$

Розкіс виконуємо з двох рівнобічних кутників 63×6 .

$$A^{\phi} = 7,28 \text{ см}^2$$

$$i_x = 1,93 \text{ см}; i_y = 2,75 \text{ см}; z_0 = 1,78 \text{ см}.$$

$$\sigma = \frac{357}{2 \times 7,28 \times 23 \times 1,1} = 0,97 \leq 1$$

$A_n = A_{\phi}$ (переріз не має отворів)

$$\lambda_{ef} = \frac{304}{1,93} = 158 < 400; \quad \lambda_{ef1} = \frac{380}{2,75} = 1387 < 400.$$

Отже приймаємо переріз розкіса N_4 з двох кутників $\perp 63 \times 6$.

6.4 Розрахунок параметрів зварених швів

Зусилля в елементі $N_4 = 357 \text{ кН}$, переріз $\perp 63 \times 6$, $z_0 = 1,78 \text{ см}$

Товщина фасонки залежно від максимального зусилля в вузлі (табл. 8) приймається рівною 14 мм. Тому $t_{\min} = t_{\text{квіт}} = 6 \text{ мм}$, тобто:

$$k_f^{\text{об'як}} = 1,2 \times 6 = 7,2 \text{ мм};$$

приймаємо $k_f^{\text{об'як}} = 8 \text{ мм};$

$$k_f^n = 0,8 \times 6 = 4,8 \text{ мм};$$

приймаємо $k_f^n = 6 \text{ мм};$

Розрахунок проводимо по металу шва, тому $R_{wf} = 18 \text{ кН/см}^2$;

$\gamma_{wf} = 1$. $\beta_{wf} = 0.7$ – ручне зварювання.

$$l_w^{\text{об}} = \frac{357 \times (6,3 - 1,78)}{2 \times 6.3 \times 0,7 \times 0,8 \times 1 \times 18 \times 1} + 1 = 13,7;$$

Приймаємо $l_w^{\text{об}} = 14 \text{ см}$

$$l_w^n = \frac{357 \times 1,78}{2 \times 6.3 \times 0,7 \times 0,6 \times 1 \times 18 \times 1} + 1 = 7,67;$$

Приймаємо $l_w^n = 8 \text{ см}$

Зусилля в елементі $N_3 = 105.4 \text{ кН}$, переріз $\perp 50 \times 5$, $z_0 = 1,42 \text{ см}$

Приймаємо:

$$k_f^{\text{об'як}} = 1,2 \times 5 = 6 \text{ мм}$$

$$k_f^n = 0,8 \times 5 = 4 \text{ мм}$$

$$l_w^{об} = \frac{105,44 \cdot (5 - 1,42)}{2 \times 5 \times 0,7 \times 0,6 \times 1 \times 18 \times 1} + 1 = 5,99 \text{ см};$$

Приймаємо $l_w^{об} = 6 \text{ см}$

$$l_w^n = \frac{105,44 \times 1,42}{2 \times 5 \times 0,7 \times 0,4 \times 1 \times 18 \times 1} + 1 = 3,97 \text{ см};$$

Приймаємо $l_w^n = 4 \text{ см}$

Зусилля в елементі $N_5 = 207 \text{ кН}$, переріз $\perp 80 \times 10$ $z_0 = 2,35 \text{ см}$

Приймаємо:

$$k_f^{обyx} = 1,2 \times 10 = 12 \text{ мм};$$

$$k_f^n = 0,8 \cdot 10 = 8 \text{ мм};$$

$$l_w^{об} = \frac{207 \times (8 - 2,35)}{2 \times 8 \times 0,7 \times 1,2 \times 1 \times 18 \times 1} + 1 = 5,83 \text{ см};$$

Приймаємо $l_w^{об} = 6 \text{ см}$

$$l_w^n = \frac{207 \times 2,35}{2 \times 8 \times 0,7 \times 0,8 \times 1 \times 18 \times 1} + 1 = 4,02 \text{ см};$$

Приймаємо $l_w^n = 4 \text{ см}$

Зусилля у верхньому поясі $N_2 = 940 \text{ кН}$, $N_1 = 750 \text{ кН}$ переріз $\perp 160 \times 14$, $z_0 = 4,47 \text{ см}$

Приймаємо:

$$k_f^{обyx} = 1,2 \times 14 = 16,8 \text{ мм};$$

$$k_f^{обyx} = 18 \text{ мм};$$

$$k_f^n = 0,8 \times 14 = 11,2 \text{ мм};$$

$$k_f^n = 12 \text{ мм};$$

$$N = \sqrt{(940 - 750)^2 + 207^2} = 281 \text{ кН},$$

$$l_w^{об} = \frac{281 \times (16 - 4,47)}{2 \times 16 \times 0,7 \times 1,8 \times 1 \times 18 \times 1} + 1 = 5,46$$

Приймаємо $l_w^{об} = 6 \text{ см}$

$$l_w^n = \frac{281 \times 4,47}{2 \times 16 \times 0,7 \times 1,2 \times 1 \times 18 \times 1} + 1 = 3,59 \text{ см};$$

Приймаємо $l_w^n = 4 \text{ см}$

Після конструювання вузла виконуємо перерахунок катетів зварюваних швів кріплення верхнього поясу до фасонки. Вводимо отримані розрахункові дані в SCAD Office постпроцесор «Комета-2» та отримуємо креслення відповідного вузла (рис.11).

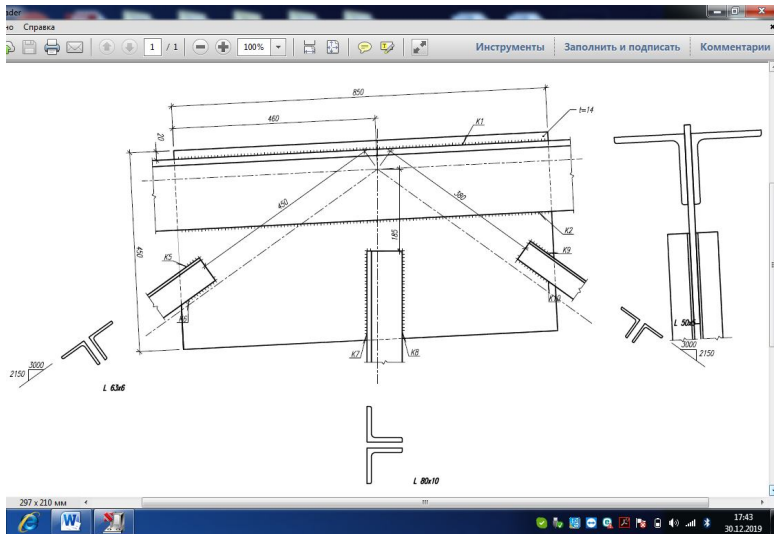


Рисунок 11 – Креслення розрахованого вузла у «Комета-2».

ВИКОРИСТАНА ТА РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. – Чинний від 2015–01–01. – Київ : Мінрегіон України, 2014. – 199 с.
2. ДБН В.1.2-2-2006. Навантаження та впливи. Норми проектування. – Чинний від 2007–01–01. – Київ : Мінрегіон України, 2006 – 60 с.
3. ДСТУ 2251:2018. Кутики сталеві гарячекатані рівнополочні. – Чинний від 2018–08–28. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 13 с.
4. EN 1993-1-1:2005. Eurocode 3 : Design of steel structures. Part 1–1 : General rules and rules for buildings. – Brussels : European Committee for Standardization, 2005. – 91 p.
5. EN 1993-1-1:2006. Eurocode 3 : Design of steel structures. Part 1–3 : General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. – Brussels : European Committee for Standardization, 2006. – 130 p.
6. EN 1993-1-1:2005. Eurocode 3 : Design of steel structures. Part 1–8 : Design of joints. – Brussels : European Committee for Standardization, 2005. – 133 p.
7. Бреттл М. Расчет стальных конструкций зданий в соответствии с Еврокодом 3 и национальными приложениями Украины / М. Бреттл, Д. Браун, Н. А. Беляев, А. С. Билык. – Киев : Украинский центр стального строительства, 2014. – 100 с.

ДОДАТОК А

Завдання для розрахунково-графічної роботи

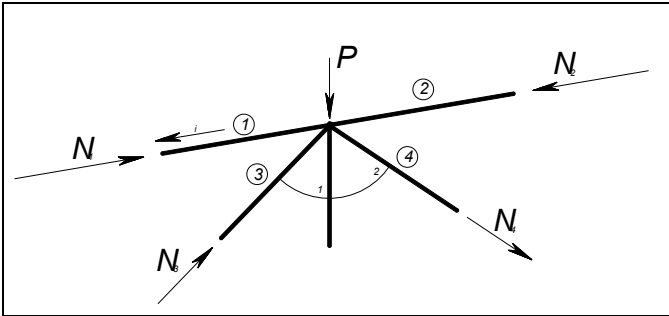


Рисунок А.1 – Вузел верхнього поясу, схема № 1

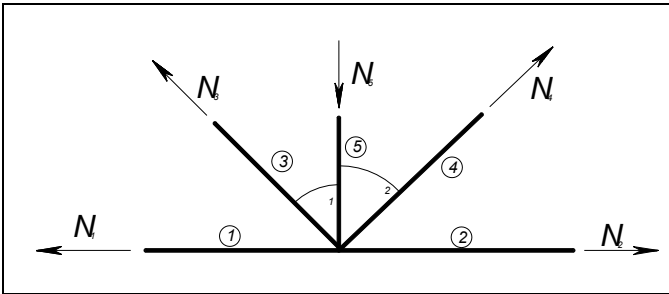


Рисунок А.2 – Вузел нижнього поясу, схема № 2

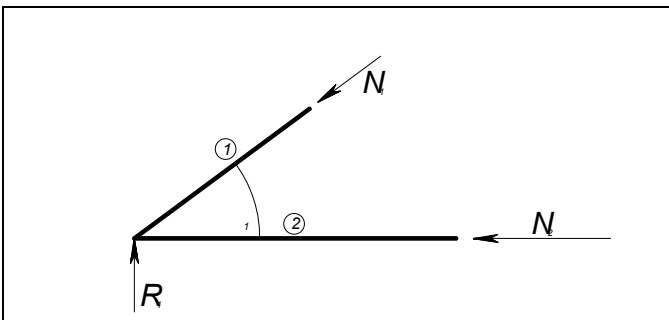


Рисунок А.3 – Опорний вузел, схема № 3

Таблиця А.1 – Вихідні дані до проектування

Передос- тання цифра № залікової книжки	$g_{покp}^n$, кН/м ²	B (м)	d (м)	α_1 гра- дусів	α_2 гра- дусів	Уклон верхнього поясу i , %	Розрахун- ковий опір сталі R_y , кН/см ²
0	6,9	6	3	52	55	10	24
1	7,2	6	3	50	50	9	24
2	3,8	12	3	50	55	8	24
3	4,0	12	3	53	50	10	24
4	7,0	6	3	48	52	11	24
5	3,9	12	3	50	53	9	24
6	4,2	12	3	45	50	8	24
7	7,1	6	3	45	55	11	24
8	4,3	12	3	48	53	10	24
9	8,1	6	3	49	51	11	24

Довжина елементів:
схема № 1: $l_3 = 3,2$ м, $l_4 = 3,6$ м;
схема № 2: $l_3 = 3,2$ м, $l_5 = 2,5$ м, $l_1 = 6,0$ м, $l_2 = 6,0$ м;
схема № 3: $l_1 = 3,8$ м, $l_2 = 6,0$ м.

Таблиця А.2 – Діючі зусилля

Остання цифра № залікової книжки	Схема № 1		Схема № 2		Схема № 3 R , кН
	N_1 , кН	N_2 , кН	N_1 , кН	N_2 , кН	
0	620	810	750	900	820
1	755	862	800	960	750
2	750	940	690	965	970
3	670	860	800	950	870
4	805	912	850	910	800
5	770	960	710	985	950
6	750	900	750	940	820
7	800	960	670	860	750
8	690	965	805	912	870
9	800	950	770	960	800

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до виконання розрахунково-графічної роботи
із навчальної дисципліни

«ПРОЄКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ»

*(для здобувачів вищої освіти усіх форм навчання
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія
освітньої програми «Промислове та цивільне будівництво»)*

Укладачі: **ЛУГЧЕНКО** Олена Іванівна
ФІРСОВ Павло Михайлович

Відповідальний за випуск: *В. С. Шмуклер*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *О. І. Лугченко*

План 2020, поз. 352 М

Підп. до друку 03.11.2021. Формат 60 × 84/16.
Електронний документ. Ум. друк. арк. 2,4.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.