

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Володимира Даля

КАФЕДРА БУДІВНИЦТВА, УРБАНІСТИКИ ТА ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять
з дисципліни «Будівельні конструкції»
Частина 1

*(для здобувачів вищої освіти спеціальності G 19
Будівництво та цивільна інженерія)*

(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри будівництва,
урбаністики та просторового
планування

Протокол № 5 від 13.12.2025 р.

Київ 2026

УДК 624.131.1

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Будівельні конструкції». **Частина 1. Для здобувачів вищої освіти спеціальності G 19 «Будівництво та цивільна інженерія»** / Укл.: Білошицький М.В., Білошицька Н.І. – Київ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2026. – 92 с.

Методичне видання спрямоване на виконання здобувачами вищої освіти практичних завдань на підставі лекційного та самостійно засвоєного матеріалу з дисципліни «Будівельні конструкції». У методичних вказівках наведено основні положення з розрахунку згинальних, стислих і стисло-згинальних елементів сталевих конструкцій. Вказано вимоги до конструювання, наведено методики та приклади розрахунку елементів сталевих конструкцій.

Матеріал методичних вказівок має практико-орієнтований характер. Набуті здобувачами вищої освіти знання та навички можуть бути використані при курсовому проектуванні та виконанні кваліфікаційної роботи бакалавра, а також у подальшій практичній діяльності у галузі будівництва та цивільної інженерії.

Укладач: М.В. Білошицький – к.т.н., доцент кафедри БУПП
Н.І. Білошицька – к.т.н., доцент кафедри БУПП

Рецензент: П.Є. Уваров – к.т.н., доцент

ЗМІСТ

Вступ	4
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1. Основні норми проєктування металевих конструкцій, вибір сталі та визначення її розрахункових характеристик за ДБН В.2.6-198:2014	8
Контрольні питання	13
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2. Визначення розрахункових характеристик матеріалів	14
Контрольні питання	26
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3. Навантаження і впливи	28
Контрольні питання	40
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4. Розрахунок елементів та з'єднань сталевих конструкцій за ДБН В.2.6-198:2014	41
Контрольні питання	56
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5. Проєктування прокатних балок	58
Контрольні питання	69
Рекомендована література	71
ДОДАТКИ	73

ВСТУП

Проектування і будівництво будівель та інженерних споруд може бути ефективним і довгостроковим, а їх експлуатація завдасть мінімальної шкоди навколишньому середовищу тільки за умови дотримання вимог, яким вони повинні відповідати на стадіях проектування, виготовлення, транспортування, монтажу та експлуатації: економічність, міцність та надійність, Мінімальні експлуатаційні витрати, індустріальність, технологічність та естетичність.

Дисципліна «Будівельні конструкції» має велике значення у загальній підготовці здобувачів вищої освіти зі спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія». Жодну будівлю або споруду не можна правильно звести та успішно експлуатувати без знання цієї дисципліни. Будівельні конструкції є базою сучасного будівництва різних форм та конструктивних рішень промислових та цивільних будівель, різних складних інженерних споруд та будівельних конструкцій різних галузей.

Метою вивчення дисципліни «Будівельні конструкції» є:

- формування у здобувачів вищої освіти світогляду щодо проектування будівельних конструкцій, розкриття сучасних наукових концепцій, понять, методів, необхідних для вирішення професійних інженерних, і наукових завдань;
- підготувати майбутніх фахівців до практичної роботи з вирішення технічних задач, що зустрічаються під час проектування будівельних конструкцій;
- вивчити теоретичні основи роботи будівельних конструкцій з різних матеріалів під навантаженням, отримати знання, вміння та основні навички з їх конструювання та інженерних методів розрахунку;
- вивчення і обґрунтування розрахунків металевих, залізобетонних, кам'яних, дерев'яних та пластмасових конструкцій на міцність, жорсткість і стійкість;
- володіння необхідними сучасними знаннями, вміннями та навичками з даної дисципліни.

Основним завданням викладання дисципліни є:

– знання і практичні навички щодо розрахунків найпростіших металевих, залізобетонних, кам'яних, дерев'яних та пластмасових конструкцій, які забезпечують їх надійність, довговічність, а також обґрунтовану економічність

– загальні принципи проектування будівельних конструкцій;

– фізико-механічні властивості основних конструкційних матеріалів (сталі, бетонів, арматури, кам'яних матеріалів, залізобетону, кам'яної і цегляної кладок тощо);

– основні методи розрахунку на різні силові впливи будівельних конструкцій з різних конструкційних матеріалів (металевих, бетонних, залізобетонних, кам'яних конструкцій тощо);

– методики проектування конструкцій будівель та споруд, що найбільш часто зустрічаються в інженерній практиці;

– ознайомленням з вимогами чинних державних стандартів (ДСТУ), будівельних норм (ДБН) та інших нормативних документів з розрахунку і проектування будівель і споруд.

Внаслідок вивчення навчальної дисципліни «Будівельні конструкції» майбутній фахівець повинен:

знати:

– класифікацію навантажень та впливів;

– основні фізико-механічні властивості будівельних матеріалів, які використовуються у конструкціях, та їх характеристики; види конструкцій та їх призначення;

– основні принципи конструювання будівель та споруд;

– особливості конструювання окремих елементів будівель та споруд;

– передумови щодо розрахунку будівельних конструкцій;

– існуючі методи розрахунку окремих елементів будівель та споруд;

– чинні нормативні документи (ДБН, ДСТУ, Європейські стандарти), що регламентують розрахунок і проектування будівельних конструкцій.

вміти:

- класифікувати будівлі та споруди по конструктивним ознакам, та виконувати розрахунки їх конструкцій;
- виконувати розрахунок згинальних та стиснутих (розтягнутих) елементів та конструкцій за граничними станами;
- самостійно приймати рішення з вибору матеріалів та конструкцій при проектуванні;
- проектувати окремі елементи і конструкції згідно діючих норм;
- користуватись науковою, довідковою та нормативною літературою;
- знаходити раціональні розв'язки практичних задач з розрахунку та конструювання найбільш розповсюджених елементів будівельних конструкцій.

володіти навичками:

- розрахунку будівельних конструкцій на міцність, жорсткість та стійкість;
- робити висновки щодо розрахунку та конструювання конструкцій, будівлі або споруди;
- приймати рішення щодо проектування малоповерхових будівель та споруд.

При вивченні дисципліни «Будівельні конструкції» відповідно до освітньої програми «Будівництво та цивільна інженерія» першого (бакалаврського) освітнього рівня вищої освіти повинні бути сформовані програмні компетентності та програмні результати навчання, а здобувачі повинні частково або повною мірою набути компетентностей:

ІК (інтегральна компетентність) – Здатність розв'язувати спеціалізовані та практичні завдання у сфері будівництва та цивільної інженерії.

Загальні компетентності:

ЗК02. Знання та розуміння предметної області та професійної діяльності.

ЗК06. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Спеціальні (фахові, предметні компетентності):

СК01. Здатність використовувати концептуальні наукові та практичні знання з математики, хімії та фізики для розв'язання складних практичних проблем в галузі будівництва та цивільної інженерії.

СК03. Здатність проектувати будівельні конструкції, будівлі, споруди та інженерні мережі (відповідно до спеціалізації), з урахуванням інженерно-технічних та ресурсозберігаючих заходів, правових, соціальних, екологічних, техніко-економічних показників, наукових та етичних аспектів, і сучасних вимог нормативної документації у сфері архітектури та будівництва, охорони довкілля та безпеки праці.

В результаті вивчення дисципліни «Будівельні конструкції» здобувач вищої освіти отримає наступні **програмні результати навчання:**

РН01. Застосовувати основні теорії, методи та принципи математичних, природничих, соціально-гуманітарних та економічних наук, сучасні моделі, методи та програмні засоби підтримки прийняття рішень для розв'язання складних задач будівництва та цивільної інженерії.

РН02. Брати участь у дослідженнях та розробках у сфері архітектури та будівництва.

РН07. Виконувати збір, інтерпретацію та застосування даних, в тому числі за рахунок пошуку, обробки та аналізу інформації з різних джерел.

РН08. Раціонально застосовувати сучасні будівельні матеріали, вироби та конструкції на основі знань про їх технічні характеристики та технологію виготовлення.

РН09. Проектувати будівельні конструкції, будівлі, споруди, інженерні мережі та технологічні процеси будівельного виробництва, з урахуванням інженерно-технічних та ресурсозберігаючих заходів, безбар'єрного простору, правових, соціальних, екологічних, техніко-економічних показників, наукових та етичних аспектів, і сучасних вимог нормативної документації, часових та інших обмежень, у сфері архітектури та будівництва, охорони довкілля та безпеки праці.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

ОСНОВНІ НОРМИ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ, ВИБІР СТАЛІ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇЇ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗА ДБН В.2.6-198:2014 [2]

Мета заняття: засвоїти класифікацію металевих конструкцій за відповідальністю, призначенням і напруженим станом, навчитися вибирати сталь для несучих конструкцій з урахуванням умов роботи конструкцій, а також визначати характеристичні та розрахункові опори сталі. З метою роз'яснення порядку виконання завдання, вибору та перетворення розмірності розрахункових параметрів викладений нижче алгоритм супроводжується числовим прикладом, розв'язання якого виділене курсивом.

Після вивчення теми здобувачі вищої освіти повинні вміти:

- орієнтуватися в положеннях ДБН В.2.6-198:2014 та застосовувати їх при розрахунку і проектуванні сталевих конструкцій;
- обґрунтовувати вибір сталі для відповідальних конструкцій (колони, ферми, мости) відповідно до вимог нормативних документів.

Короткі теоретичні відомості

ДБН В.1.2-14:2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [3] встановлюють загальні принципи забезпечення надійності і конструктивної безпеки будівель і споруд і розповсюджуються на вишукування, проектування, будівництво та ліквідацію будівель і споруд незалежно від їх призначення, а також встановлюють положення щодо дотримання функціональних параметрів об'єкта під час його експлуатації.

ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» [2] поширюються на проектування сталевих конструкцій будинків, будівель і споруд різного призначення, що працюють за температури навколишнього середовища не вище ніж 100°C і можливим короточасним підвищенням температури до 150°C без ознак надзвичайної ситуації.

ДБН В.2.6-198:2014 встановлюють вимоги до проектування сталевих конструкцій, у тому числі при їх зведенні, реконструкції та ремонті, а також при визначенні придатності до експлуатації існуючих конструкцій.

При проектуванні сталевих конструкцій, що перебувають в особливих умовах експлуатації, конструкцій унікальних споруд, а також спеціальних видів конструкцій (попередньо напружених, трансформованих, мобільних) необхідно дотримуватись додаткових вимог, які відображають особливості роботи цих конструкцій та передбачені відповідними будівельними нормами та нормативними документами.

Норми не розповсюджуються на проектування сталевих конструкцій мостів, транспортних тунелів і труб під насипами; на вибір технічних рішень та роботи щодо спеціального захисту сталевих конструкцій (вогнезахист, вторинний протикорозійний захист, вибухозахищеність тощо); на проектування сталевих тонкостінних конструкцій із холодногнутих профілів. Для вище перелічених виключень існують окремі нормативні документи.

Вихідні дані: завдання на виконання курсової роботи, або видане викладачем індивідуальне завдання, яке містить призначення будівлі, вид конструкції та вид прокату для її елементів. В наведеному прикладі розглядається вибір розрахункових параметрів для кроквяної ферми одноповерхової складської будівлі, стрижні якої виконуються з гнутих замкнутих зварних профілів (квадратних та прямокутних труб), з постійним перебуванням людей до 50.

Перелік і порядок виконання завдань практичного заняття:

1. Ознайомитися з розділом 5 ДБН В.1.2-14-2018 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [3], який регламентує класифікацію будівельних об'єктів і конструкцій за відповідальністю, а також порядок встановлення термінів їх експлуатації.

2. Ознайомитися із загальною структурою ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві

конструкції» [2], як з основним нормативним документом, що встановлює правила проектування несучих сталевих конструкцій для будівництва.

3. Вивчити пункти 5.3.5 та 5.3.6 ДБН [2], які встановлюють класифікацію сталевих конструкцій та їх елементів за відповідальністю, призначенням і параметрами напруженого стану.

4. Виконати класифікацію сталевих конструкцій (*у прикладі – кроквяна ферма зі зварними з'єднаннями, складського приміщення зі статичним навантаженням, з постійним перебуванням людей до 50*) за схемою табл. 1.1 у такому порядку:

✓ Клас відповідальності будівлі (СС1, СС2, СС3) визначається згідно з пунктом 5.1 ДБН [1]. *Оскільки в приміщенні складу постійно перебувають до 50 людей, за табл. 1 ДБН [3] встановлено клас відповідальності СС1.*

✓ Категорії конструкції за призначенням (А, Б, В) і за напруженим станом (I, II, III) встановлюються згідно з пунктами 5.2 ДБН [1], а також 5.3.5 і 5.3.6 ДБН [2]. Категорії сталевих конструкцій за призначенням і за напруженим станом конкретизовані в таблиці А.1 з додатку А ДБН [2], де наведено перелік конструкцій з позначеннями цих категорій. *За пунктом 5 таблиці А.1 з додатку А ДБН [2] встановлюємо, що ферми покриття при статичному навантаженні відносяться до категорії А за призначенням та до категорії II за напруженим станом.*

Наявність напружень розтягу від розрахункового навантаження встановлюється за розрахунковою схемою конструкції. *У кроквяних фермах наявні розтягнуті стержні (нижній пояс та частина розкосів).*

✓ Несприятливий вплив зварних з'єднань враховується, якщо вони розташовані у місцях дії значних розрахункових розтягувальних напружень, або в місцях, де міцність зварного з'єднання визначає придатність до експлуатації конструкції в цілому (примітка до табл. А.2 ДБН [2]). *У зварних вузлах ферм з квадратних і прямокутних труб при безпосередньому примиканні розтягнутих розкосів до поясів та нижнього поясу до фланців укрупнювального вузла розтягувальні напруження можуть наближатися до розрахункового опору сталі, що обумовлює наявність несприятливого впливу зварних з'єднань.*

Результати класифікації для кожної з розглянутих конструкцій заносяться до табл. 1.1. В останній колонці табл. 1.1 проставляються відповідні бали згідно з таблицею А.2 ДБН [2].

Таблиця 1.1

Класифікаційні ознаки для встановлення групи конструкції

Чинники класифікації	Джерело класифікації	Позначення	Результат класифікації	Показник групи (бали)
Клас відповідальності будівлі	п. 5.1 ДБН [3]	S1	<i>CCI</i>	0
Категорія відповідальності конструкції за призначенням	п. 5.2 ДБН [3] п. 5.3.5 і додаток А ДБН [2]	S2	<i>A</i>	11
Категорія конструкції за напруженням станом	п. 5.3.6 і додаток А ДБН [2]	S3	<i>II</i>	5
Наявність напружень розтягу від розрах. навантаження	розрахункова схема конструкції	S4	<i>Є</i>	7
Несприятливий вплив зварних з'єднань	розміщення зварних швів у конструкції	S5	<i>Є</i>	6
Сума балів за пунктом А.1 ДБН [2]		29		
Група конструкцій за пунктом А.1 ДБН [2]		<i>Група 1</i>		
Клас міцності сталі за таблицею Г.1 ДБН [2]		С255		
Коефіцієнт умов роботи γ_c за таблицею 5.1 ДБН [2]		1,0		
Коефіцієнт відповідальності γ_n для розрахунків за першою групою граничних станів з таблиці 5 ДБН [3]		1,0		
Строк експлуатації T_{ef} (роки) за пунктом 5.3 ДБН [3]		60		

5. Обчислити суму балів, вказаних у табл. 1.1, за вказівками пункту А.1 ДБН [2] встановити номер групи, до якої належить конструкція, та занести ці дані до таблиці 1.1. Згідно з вказівками пункту А.2 ДБН [2], група конструкцій може бути пізніше уточнена за результатами підбору перерізів. *При отриманій сумі балів $S_{tot} = 29 > 26$ кроквяну ферму складського приміщення слід віднести до конструкцій групи 1.*

6. За пунктами 6.1, 6.2.1 ДБН [2] вивчити вимоги до сталей і порядок вибору сталі для металевих конструкцій.

7. За табл. Г.1 ДБН [2] вибрати клас міцності сталі для конструкції з

урахуванням групи конструкцій та бажаних характеристик міцності і вказати його в табл.1.1. З табл. Г.1 ДБН [2] для виконання кроквяної ферми складського приміщення обираємо сталь класу міцності С255, яка має достатню міцність та придатна для конструкцій групи 1.

8. За табл. 5.1 ДБН [2] встановити коефіцієнти умов роботи усіх елементів конструкції та занести їх до табл. 1.1. Оскільки в переліку таблиці 5.1 ДБН [2] кроквяні ферми та їх елементи не вказані, згідно з приміткою 5 до цієї таблиці приймаємо коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1$.

9. За п.п. 7.6.4, 7.6.5 і табл. 5 ДБН [1] визначити коефіцієнти надійності за відповідальністю для розрахунку конструкції за граничними станами першої та другої (за необхідністю) групи в усталеній розрахунковій ситуації та занести їх до табл. 1.1. За табл. 5 ДБН [3] визначаємо, що для конструкцій класу відповідальності СС1 категорії відповідальності А коефіцієнт відповідальності для розрахунку за граничними станами першої групи в усталених розрахункових ситуаціях дорівнює $\gamma_n = 1,00$. При правильному виборі висоти кроквяної ферми її розрахунок за граничним станом другої групи не виконується.

10. Згідно з пунктом 5.3 і табл. 2 ДБН [3], визначити розрахунковий строк експлуатації конструкції T_{ef} та занести його до табл. 1.1. За табл. 2 ДБН [3], приймаємо строк експлуатації складської будівлі $T_{ef} = 60$ років.

11. Вивчити пункти 7.1...7.4 ДБН [2], які встановлюють порядок визначення характеристичних і розрахункових опорів сталей.

12. Характеристичні опори за межею текучості та межею міцності приймають рівними гарантованим значенням границі текучості й тимчасового опору, встановленим у нормативному документі на вибрану сталь. Механічні характеристики сталей масового використання можна встановити за ДСТУ 8539:2015 [4]. Механічні характеристики інших сталей визначають за відповідними стандартами чи іншими документами. Характеристичні опори листового прокату, з якого виготовляються гнуті замкнуті зварні профілі, вибираємо з таблиці 4 ДСТУ [4], яка також наведена в додатку А. При найбільш імовірній товщині стінок гнутих профілів 4...10 мм характеристичне значення границі текучості

сталі С255 R_{yn} дорівнює 255 МПа (Н/мм²), а тимчасового опору – $R_{un} = 380$ МПа (Н/мм²).

13. Розрахункові опори листового чи фасонного прокату із заданої сталі визначають за формулами з табл. 7.1 ДБН [2] з урахуванням коефіцієнтів надійності за матеріалом з табл. 7.2 тих же ДБН. Для розрахунків кроквяної ферми необхідно встановити розрахунковий опір розтягу, стиску та згину за межею текучості, рівний $R_y = R_{yn} / \gamma_m = 255 / 1,025 = 248,78$ МПа, та розрахунковий опір зминанню торцевої поверхні, рівний $R_p = R_{un} / \gamma_m = 380 / 1,025 = 370,7$ МПа. З округленням до 5 МПа приймаємо $R_y = 248$ МПа та $R_p = 370$ МПа.

Контрольні питання:

1. Які основні положення встановлює ДБН В.2.6-198:2014 «Стальні конструкції»?
2. Які обмеження щодо застосування сталей різних класів для відповідальних конструкцій (мости, колони, ферми)?
3. Як у ДБН трактуються вимоги до сертифікації та підтвердження якості сталі, що застосовується у будівництві?
4. Які фактори враховуються при виборі сталі: умови роботи конструкції, температура експлуатації, зварюваність тощо?
5. Що таке розрахунковий опір зварного шва та від яких параметрів він залежить?
6. Які коефіцієнти надійності за матеріалом застосовуються при визначенні розрахункових характеристик сталі?
7. У чому полягає різниця між тимчасовим опором, границею текучості та розрахунковим опором?
8. Як враховуються умови агресивного середовища та корозійна стійкість при виборі сталі?
9. Які особливості вибору сталі для зварних і болтових з'єднань?
10. Як у ДБН регламентуються мінімальні товщини сталевих елементів залежно від умов експлуатації?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ

Мета заняття: оволодіння здобувачами вищої освіти навичками визначення розрахункових характеристик різних будівельних матеріалів, зокрема металевих конструкцій.

Після вивчення теми здобувачі вищої освіти повинні вміти:

- визначати розрахункові характеристики (границю текучості, тимчасовий опір, модуль пружності, розрахунковий опір) будівельних матеріалів;
- аналізувати розрахункові характеристики різних будівельних матеріалів.

Короткі теоретичні відомості

Метою розрахунку металевих конструкцій є суворе обґрунтування їх габаритних розмірів, розмірів поперечних перерізів та їх з'єднань, що забезпечують необхідну надійність, довговічність та економічність. Ці вимоги часто суперечать одна одній, тому проектування є процесом пошуку раціонального рішення.

Розрахунок конструкцій складається з наступних етапів:

- складання розрахункової схеми;
- збір навантажень;
- визначення зусиль в елементах конструкцій;
- підбір поперечних перерізів;
- перевірки підібраних перерізів.

Перші три етапи називаються **статичним розрахунком конструкцій**, а останні два – **конструктивним розрахунком конструкцій**.

У теперішній час конструктивний розрахунок будівельних конструкцій, у тому числі металевих, ведеться за **методом граничних станів** – досить простому та науково обґрунтованому.

Граничний стан (ГС) – стан, коли конструкція перестає задовольняти вимоги до неї в процесі експлуатації чи монтажу. Граничні стани умовно поділяються на дві групи.

У першу групу граничних станів входять граничні стани, при настанні яких конструкція стає повністю непридатною для подальшої експлуатації. До них належать руйнування будь-якого виду, втрата загальної стійкості конструкції або втрата місцевої стійкості окремого елемента конструкції, порушення вузлів і з'єднань, що перетворюють конструкцію на геометричну систему.

Розрахунок за граничними станами I групи (розрахунок за несучою здатністю) обов'язковий для всіх несучих конструкцій, елементів та їх з'єднань.

Розрахунок по несучій здатності проводиться на вплив найбільших навантажень, можливих в процесі експлуатації (розрахункових навантажень). При цьому максимально можливе зусилля в елементі або у конструкції не повинно перевищувати мінімальної несучої здатності елемента або конструкції:

$$N \leq \Phi, \quad (2.1)$$

де N – максимальне зусилля, що залежить від навантажень та розрахункової схеми;

Φ – найменша можлива несуча спроможність перетину, яка залежить від розрахункового опору матеріалу R і площі поперечного перерізу A , тобто формула приймає вигляд:

$$N \leq R \cdot A. \quad (2.2)$$

При поздовжньому згині колон, зменшується їх несуча здатність. У розрахункових формулах це враховується введенням коефіцієнта поздовжнього вигину φ , що має значення менше 1,0. Тому, розрахункова формула для розрахунку центрально-стиснутих колон незалежно від матеріалу набуває вигляду

$$N \leq \varphi \cdot R \cdot A, \quad (2.3)$$

До другої групи ГС входять граничні стани, при яких конструкція стає непридатною до нормальної експлуатації за деформаціями та переміщеннями, тобто через непридатність. До них належать прогини, переміщення та повороти вузлів, осадки опор та коливання, що перевищують норми.

Розрахунок за граничними станами II групи (розрахунок за деформаціями) проводиться в основному для згинальних елементів (визначається прогин).

Формулу (2.2) можна розглядати як базову при розрахунках на стійкість. Для кожного з матеріалів: сталі, залізобетону, каменю, дерева – вона видозмінюється з урахуванням особливостей їх роботи під навантаженням.

Розрахунок за деформаціями здійснюється на дію нормативних навантажень. при цьому фактична деформація не повинна перевищувати нормованої величини деформації:

$$f \leq f_u, \quad (2.3)$$

де f – фактична деформація, що визначається за формулами будівельної механіки;

f_u – нормована величина деформації, що задається для залізобетонних конструкцій в ДБН В.2.6-98:2009 «Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення» п.п. 7.3-7.4.

Елементи сталевих конструкцій розраховують за несучою здатністю (на міцність та стійкість) та за деформаціями.

Розтягнуті елементи розраховують на міцність, стислі – на стійкість і міцність (тільки у разі, якщо перетин елемента послаблений отворами).

Для сталевих конструкцій f_u (гранична деформація) визначається через гнучкість – тобто через співвідношення характеристик геометрії та жорсткості елемента (довжина, радіус інерції тощо), нормоване в ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування [2].

Основним параметром, від якого залежить φ , є гнучкість стрижня (колони) – λ . Гнучкість визначається за формулою

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i}, \quad (2.4)$$

де l_{ef} – розрахункова довжина стержня, яка визначається за формулою

$$l_{ef} = \mu \cdot l, \quad (2.5)$$

де l – геометрична довжина стрижня;

μ – коефіцієнт розрахункової довжини стрижня,

i – радіус інерції.

Розрахунок на міцність елементів, схильних до центрального розтягу або стиску силою N , слід виконувати за формулою:

$$\frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c, \quad (2.6)$$

де A_n – площа поперечного перерізу (нетто);

γ_c – коефіцієнт умов роботи, який приймається за [2, табл. 5.1].

Розрахунок на міцність розтягнутих елементів конструкцій із сталі із співвідношенням $R_u/\gamma_u > R_y$, експлуатація яких можлива і після досягнення металом межі плинності слід виконувати за формулою:

$$\frac{N}{A_n} \leq \frac{R_u \gamma_c}{\gamma_u}, \quad (2.7)$$

де γ_u – коефіцієнт надійності.

Розрахунок на стійкість суцільностінчастих елементів, схильних до центрального стиску силою N , слід виконувати за формулою

$$\frac{N}{\varphi A_n} \leq R_y \gamma_c, \quad (2.8)$$

Величина коефіцієнта визначається за [2, дод. Ж] залежно від гнучкості і марки сталі.

Розрахунок на міцність елементів (крім балок із гнучкою стінкою, з перфорованою стінкою та підкранових балок), що згинаються в одній з головних площин слід виконувати за формулами:

$$\frac{M}{W_{n,min}} \leq R_y \gamma_c, \quad (2.9)$$

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{I \cdot t} \leq R_s \gamma_c, \quad (2.10)$$

де M – згинальний момент від розрахункових навантажень;

$W_{n,min}$ – мінімальний момент опору перерізу з урахуванням послаблень;

Q – розрахункова поперечна сила;

S – статичний момент перерізу щодо нейтральної осі;

I – момент інерції перерізу щодо нейтральної осі;

t – товщина стінки.

Довідкові дані, необхідні для розрахунків металевих конструкцій, наведені у [2] (див. Практичне заняття №1).

Характеристики міцності. Основна характеристика міцності сталі – це нормативний опір. Для елементів, що працюють на стиск, розтяг та згин, норми розглядають дві величини нормативного опору:

– нормативний опір за межею текучості R_{yn} (визначається за межею текучості зразків σ_y);

– тимчасовий опір або нормативний опір за межею міцності R_{un} (визначається з тимчасового опору зразків σ_u).

Дані величини одержують шляхом статистичної обробки даних лабораторних випробувань зразків матеріалу. Найчастіше нормативне значення опору призначають із забезпеченістю 0,95, тобто зі 100 зразків, що випробовуються, мінімум 95 повинні мати опір не менше прийнятого.

Оскільки робота зразків під навантаженням у лабораторії відрізняється від роботи реальних конструкцій з безлічі причин, то розрахунок проводиться за розрахунковими опорами, яких також виділяють два:

– розрахунковий опір за межею текучості R_y ;

– розрахунковий опір за межею міцності R_u .

Розрахункові опори визначаються шляхом розподілу нормативних опорів на коефіцієнт надійності за матеріалом:

$$R_y = \frac{R_{yn}}{\gamma_m} \text{ або } R_u = \frac{R_{un}}{\gamma_m}, \quad (2.11)$$

де γ_m – коефіцієнт надійності за матеріалом, $\gamma_m > 1$.

Для конструкцій із сталі, що не має майданчика текучості, використовується розрахунковий опір за межами міцності з урахуванням коефіцієнта надійності $\frac{R_u}{\gamma_u}$,

де γ_u – коефіцієнт надійності, $\gamma_u = 1,3$.

Величини опорів R_{yn} , R_{un} , R_y , R_u залежно від класу сталі та виду прокату наведено в [2].

Умови роботи конструкції враховуються за допомогою коефіцієнта умов роботи γ_c , який визначається за [2, табл. 5.1].

Коефіцієнт надійності за матеріалом враховує невідповідність фактичної роботи матеріалу в конструкціях і його роботи при випробуванні в зразках, а також можливість попадання в конструкції матеріалу з властивостями нижче встановлених в стандартах.

Розрахункові опори в розрахунках слід приймати з *коефіцієнтом умов роботи* γ_c . Цей коефіцієнт враховує особливості роботи матеріалів, елементів і з'єднань конструкцій, а також будівель і споруд в цілому, якщо ці особливості мають систематичний характер, але не відображаються в розрахунках прямим шляхом (облік температури, вологості, агресивності середовища та ін.).

Якщо коефіцієнт умов роботи відрізняється від одиниці, на нього завжди треба помножити розрахунковий опір.

Вибір матеріалів для несучих конструкцій залежить від багатьох умов. При цьому немає необхідності кожного разу виконувати порівняння варіантів і економічні обґрунтування, тому що в будівельній практиці за певними видами конструкцій давно закріпилися відповідні матеріали. Сталь, залізобетон, деревину можна використовувати для стислих і згинальних конструкцій (колони і балки), а камінь (цегла) широко використовується для стовпів, але практично не використовується в якості згинальних конструкцій.

Рівень відповідальності будівлі враховують за допомогою коефіцієнта надійності за призначенням γ_n . Усі будівлі та споруди відповідно до ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд поділяються категорії та класи відповідальності [2, 3].

Завдання 1

Визначити розрахунковий опір сталі за межею текучості для стиснутого стрижня звареної кроквяної ферми з парних кутників при розрахунку на стійкість. Встановити вихідні дані за табл. 2.1.

Розрахункові характеристики прокатної сталі

№ вар.	Марка сталі	Номер кутника	№ вар.	Марка сталі	Номер кутника
1	C 235	└ 50×5	16	C 245	└ 160×12
2	C 245	└ 56×5	17	C 255	└ 200×10
3	C 255	└ 63×6	18	C 245	└ 200×13
4	C 255	└ 63×4	19	C 285	└ 200×14
5	C 285	└ 70×5	20	C 345	└ 200×16
6	C 345	└ 70×6	21	C 385	└ 200×20
7	C 385	└ 75×5	22	C 235	└ 200×12
8	C 235	└ 75×6	23	C 245	└ 200×13
9	C 245	└ 80×6	24	C 255	└ 100×7
10	C 255	└ 80×7	25	C 235	└ 100×8
11	C 255	└ 90×6	26	C 285	└ 100×10
12	C 285	└ 90×7	27	C 345	└ 110×10
13	C 345	└ 160×10	28	C 355	└ 125×9
14	C 385	└ 160×12	29	C 235	└ 140×9
15	C 345	└ 180×11	30	C 345	└ 140×10

Методика розрахунку

1. За табл. А.1 додатка А визначається розрахунковий опір сталі за границею текучості R_y , Н/мм² для заданої марки сталі і при товщині фасону, зазначеної в номері кутника. Наприклад, дано кутник └ 125×10, його товщина $t = 10$ мм. Для марки сталі C 245: $R_y^T = 240$ Н/мм² або 240 МПа.

2. За табл. Б.1 додатка Б визначається коефіцієнт умови роботи стиснутого стрижня ферми γ_c .

3. Розрахунковий опір сталі за межею текучості для стиснутого стрижня звареної кроквяної ферми визначається за формулою: $R_y = R_y^T \cdot \gamma_c$, МПа.

Завдання 2

Форма перерізу \perp . Розрахункове напруження 510 кН. Сталь марки С345. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c=0,9$. Підібрати перетин розтягнутих елементів із прокатних профілів.

Методика розрахунку

1. Визначаємо властивості матеріалів.

За табл. А.1 дод. А або [2,табл. Г.2] для сталі марки С345 $R_y=350$ МПа.

2. З умови міцності (2.6) визначаємо площу поперечного перерізу:

$$A_n = \frac{N}{R_y \gamma_c} = \frac{510 \cdot 10^3}{350 \cdot 0,9} = 1889 \text{ мм}^2.$$

3. За ДСТУ 2251:2018 «Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні. Сортамент», табл. 1 для рівнобокого куточка підбираємо переріз: $\perp 100 \times 10$, $A = 1924 \text{ мм}^2$.

Завдання 3

Форма перерізу I. Розміри перерізу (номер профілю) № 24. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c=0,9$. Перевірити міцність розтягнутого елемента з прокатного профілю.

Методика розрахунку

1. Визначаємо властивості матеріалів.

За табл. 1 ДСТУ 8807 «Балки двотаврові та швелери сталеві спеціальні. Сортамент» для сталі двотаврової балки згідно з номером профілю приймаємо $h = 240$ мм, $b = 110$ мм, $s = 8,2$ мм, $t = 14$ мм, $F = 48,7 \text{ см}^2 = 4870 \text{ мм}^2$.

2. Виконуємо перевірку умови міцності (2.6):

$$\frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c$$
$$\frac{N}{A_n} = \frac{980 \cdot 10^3}{48,7 \cdot 10^2} = 201,23 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 201,23 \text{ МПа.}$$

Оскільки $201,23 \text{ МПа}$ менше $R_y \gamma_c = 255 \cdot 0,9 = 229,5 \text{ МПа}$, – умова дотримується, міцність забезпечена.

Завдання 4

Форма перерізу $\times \Gamma^x$. Розрахункове напруження 870 кН . Марка сталі С235. Розрахункова довжина $l_{ef} = 4700 \text{ мм}$. Коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0,8$. Потрібно підібрати перетин та перевірити стійкість стислих елементів щодо осі х-х $\varphi \rightarrow \frac{l_{ef}}{i_x}$.

Методика розрахунку

1. Визначаємо властивості матеріалів.

За табл. А.1 дод. А або [2, табл. Г.2] для сталі марки С235 приймаємо $R_y = 235 \text{ МПа}$.

2. З умови міцності (2.8), попередньо приймаючи $\varphi = 0,5$, знаходимо площу перерізу:

$$A_n = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{870 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 235 \cdot 0,8} = 5784 \text{ мм}^2.$$

За табл. В.1 додатку В підбираємо розмір перерізу двотаврову 26Ш2 з основними розмірами: $h = 255 \text{ мм}$, $b = 180 \text{ мм}$, $t = 12,5 \text{ мм}$, $A = 62,73 \text{ см}^2 = 9567 \text{ мм}^2$, $i_x = 108,8 \text{ мм}$.

3. Визначаємо гнучкість елемента:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_x} = \frac{4700}{108,8} = 43,2.$$

Умовна гнучкість елемента:

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 43,2 \sqrt{\frac{235}{210000}} = 1,47$$

За табл. Г.1 додатку Г уточнюємо φ залежно від $\bar{\lambda}$ та R_y , $\varphi = 0,881$ (значення φ збільшено в 1000 разів).

4. Згідно з умовою міцності

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} = \frac{870 \cdot 10^3}{0,881 \cdot 6273} = 157,42 \text{ МПа}.$$

Оскільки $157,42$ МПа менше $R_y \gamma_c = 235 \cdot 0,8 = 188$ МПа – умова виконується, стійкість забезпечена.

Завдання 5

Форма перерізу I. Марка сталі С255. Згинальний момент $M = 14$ кН м, поперечна сила $Q = 13$ кН. Проліт $L = 4200$ мм, $\left[\frac{f}{l}\right] = 200$. Коефіцієнт умов $\gamma_c = 0,8$, γ_m обирається за табл. 7.1 [2], усереднений коефіцієнт надійності за навантаженням $\gamma_{ni} = 1,15$.

Потрібно підібрати перетин, перевірити міцність і жорсткість згинальних елементів з прокатних профілів.

Методика розрахунку

1. Визначаємо властивості матеріалів.

За табл. А.1 додатку А або [2, табл. Г.2] для сталі марки С255 приймаємо $R_y = 245$ МПа, $R_{yn} = 255$ МПа, модуль пружності сталі $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

2. Підбір перерізу здійснюємо за умови (2.9):

$$W_x^{тр} = \frac{M}{R_y \gamma_c} = \frac{14 \cdot 10^6}{245 \cdot 0,8} = 71429 \text{ мм}^3 = 71,4 \text{ см}^3.$$

3. За табл. В.1 додатку В підбираємо балку двотаврову номер профілю 14 з основними розмірами С 14: $h=140$ мм, $b=80$ мм, $s=5,5$ мм, $t=9,1$ мм, $F=21,5$ см², $I_x=712$ см⁴, $W_x=102$ см³, $i_x=5,75$ см, $S_x=58,4$ см³, $I_y=64,8$ см⁴, $W_y=16,2$ см³, $i_y=1,74$ см.

4. Виконуємо перевірку міцності:

– за нормальним напруженням

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \leq R_y \gamma_c. \quad \frac{M}{W_x} = \frac{14 \cdot 10^6}{102000} = 137,26 \text{ МПа.}$$

Оскільки $137,26$ МПа менше $R_y \gamma_c = 245 \cdot 0,8 = 196$ МПа – умова виконується.

– за дотичним напруженням

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{I \cdot t} \leq R_s \gamma_c,$$

$$\frac{Q \cdot S}{I \cdot t} = \frac{13 \cdot 10^3 \cdot 58400}{7120000 \cdot 9,1} = 11,7 \text{ МПа.}$$

Оскільки 11,71 МПа менше $R_s \gamma_c = 0,58 \frac{R_{yn}}{\gamma_m} \gamma_c = 0,58 \frac{255}{1,05} \cdot 0,8 = 112,68 \text{ МПа}$

– умова виконується.

Обидві умови виконуються. Міцність забезпечена.

5. Виконуємо перевірку жорсткості із умови:

$$\frac{f}{l} = \frac{M_n \cdot l}{10E \cdot I} \leq \left[\frac{f}{l} \right].$$


$$M_n = \frac{M}{\gamma_{ni}} = \frac{14 \cdot 10^6}{1,15} = 12,17 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$\frac{M_n \cdot l}{10E \cdot I} = \frac{12,17 \cdot 10^6 \cdot 4200}{10 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 7120000} = 0,0034.$$











$\frac{f}{l} = 0,0034 < \left[\frac{f}{l} \right] = 0,005$ – умова виконується, жорсткість забезпечена

Завдання для самостійної роботи











Завдання 2. Підібрати перетин розтягнутих елементів із прокатних профілів

№ варіанту	Форма перетину	Розрахункове зусилля, кН	Марка сталі	γ_c
1		480	C345	0,90
2		800	C375	1,00
3		920	C285	0,90
4		740	C235	0,90
5		920	C245	1,00
6		690	C245	1,00
7		570	C245	0,95
8		860	C255	0,95
9		770	C275	1,00
10		1200	C285	0,90











Завдання 3. Перевірити міцність розтягнутих елементів прокатних профілів (при необхідності розміри перерізів збільшити).

№ варіанту	Форма перетину	Розрахункове зусилля, кН	Розмір перетину	Марка сталі	γ_c
1		790	2N20	C245	1,0
2		920	N24	C255	0,9
3		1100	d ₁ =30 мм d ₂ =70 мм	C345	1,0
4		1500	d=60 мм	C235	0,9
5		870	N18	C285	1,0
6		690	N24	C275	0,9
7		560	N10	C255	1,0
8		480	N12	C345	0,9
9		360	2L10×8	C440	1,0
10		290	L90×7	C375	0,9

Завдання 4. Підібрати перетин та перевірити стійкість стиснутих елементів щодо осі x-x ($\varphi \rightarrow \lambda_x = l_{ef}/i_x$).

№ варіанту	Форма перетину	Розрахункове зусилля, кН	Розрахункова довжина, l_{ef} , см	Марка сталі	γ_c
1		880	420	C235	0,80
2		920	540	C255	0,85
3		460	250	C245	0,90
4		580	300	C345	0,95
5		760	680	C235	0,80
6		1050	360	C375	0,85
7		1150	470	C440	0,90
8		1200	600	C235	0,95
9		900	270	C245	0,85
10		850	720	C255	0,90

Завдання 5. Підібрати перетин, перевірити міцність і жорсткість елементів, що згинаються, виконаних з прокатних профілів.

№ варіанту	Форма перетину	Зусилля		γ_m	Проліт l , м	$[f / l]$	Марка сталі	γ_c
		M, кН·м	Q, кН					
1		18	17	табл. 7.2 [2]	4,4	1/200	C255	0,8
2		61	27	табл. 7.2 [2]	9	1/250	C235	0,85
3		20	10	табл. 7.2 [2]	3,1	1/300	C275	0,9
4		27	18	табл. 7.2 [2]	6,0	1/350	C285	0,95
5		39	22	табл. 7.2 [2]	7,2	1/400	C245	0,8
6		10	9	табл. 7.2 [2]	2,8	1/450	C345	0,85
7		23	15	табл. 7.2 [2]	5,6	1/300	C235	0,9
8		32	20	табл. 7.2 [2]	6,4	1/350	C235	0,95
9		12	8	табл. 7.2 [2]	3,2	1/500	C375	0,85
10		29	18	табл. 7.2 [2]	5,1	1/250	C255	0,9

Примітки: 1. $M_n = M / \gamma_n$, тут γ_n – усереднений коефіцієнт надійності навантаження, рівний 1,2.

2. Якщо умови міцності та жорсткості не дотримуються, необхідно збільшити розміри перерізу та виконати перерахунок.

Контрольні питання:

1. Що розуміють під розрахунковими характеристиками будівельних матеріалів?
2. Які основні фізико-механічні характеристики визначаються для будівельних матеріалів?
3. Яка різниця між нормативними та розрахунковими характеристиками матеріалів?
4. Які коефіцієнти враховуються при переході від нормативних до розрахункових характеристик?

5. Що таке коефіцієнт надійності за матеріалом і як він застосовується?
6. Як визначається розрахунковий опір сталі при розтягу та стиску, згині та зсуві?
7. Як визначається модуль пружності сталі та яке його значення приймається в розрахунках?
8. Як визначаються характеристики матеріалів при короткочасному та тривалому навантаженні?
9. Які основні види граничних станів розглядаються при розрахунку металевих конструкцій?
10. Як розрахункові характеристики сталі (опір розтягу, стиску, зсуву) пов'язані з її класом і маркою?
11. За якими критеріями здійснюється вибір марки сталі для проектування конструкцій?
12. Які коефіцієнти надійності за матеріалом застосовуються при визначенні розрахункових характеристик сталі?
13. У чому полягає різниця між тимчасовим опором, границею текучості та розрахунковим опором?
14. Яким чином у розрахунках враховується вплив залишкових напружень і початкових недосконалостей?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ

Мета практичного заняття: Оволодіння здобувачами вищої освіти навичками збору навантажень на 1 м² покриття.

Після вивчення теми здобувачі вищої освіти повинні вміти:

- виконувати збір навантажень на 1 м² покриття;
- аналізувати результати збору навантажень на 1 м² покриття;
- оцінювати правильність збору навантажень на 1 м² покриття.

Короткі теоретичні відомості

Залежно від причин виникнення навантаження і впливи поділяються на основні та епізодичні.

З точки зору характеру впливу навантаження можуть бути статичними і динамічними.

На перекриття та покриття будівель залежно від тривалості дії, зазвичай, діють два типи навантажень – **постійні** і **змінні** (або тимчасові) відповідно до ДБН В.1.2-2:2006 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування» [1]. Зазвичай ці навантаження задаються рівномірно розподіленими по всій площі перекриття чи покриття.

Постійні навантаження – це переважно власна вага несучих та огорожувальних конструкцій будівлі. Значення постійних навантажень визначається через геометричні розміри та щільність (питома вага) матеріалу конструкцій.

До постійних навантажень належать:

- вага частин будівель і споруд, в тому числі вага несучих і огорожувальних будівельних конструкцій;
- вага і тиск ґрунтів (насипів, засипок), гірничий тиск;
- вплив попереднього напруження в конструкціях.

Товщина шарів у покрівлі та перекриттях зазвичай задається в архітектурних рішеннях проекту, а щільність (питома вага) матеріалу приймається за довідковими даними або за даними заводу-виробника.

На початку проектування, коли поперечні перерізи несучих конструкцій ще не відомі, точно визначити їх власну вагу буває важко. Тому при збиранні навантажень зазвичай приймають власну вагу несучих конструкцій приблизно з наступним уточненням після конструктивного розрахунку. Якщо уточнена вага конструкцій несуттєво відрізняється від прийнятої, то перерахунок не провадиться. Власну вагу таких конструкцій, як залізобетонні плити, балки, ферми, прогони, зв'язки тощо можна прийняти рівномірно розподіленими за площею покриття або перекриття. Приблизні значення таких постійних навантажень наводяться у довідковій та навчальній літературі.

Змінні навантаження поділяють на **тривалі, короткочасні і епізодичні**.

До **змінних тривалих навантажень** належать:

- вага тимчасових перегородок;
- вага стаціонарного обладнання, а також вага рідких і твердих речовин, що заповнюють обладнання;
- навантаження на перекриття в складських приміщеннях, холодильниках, зерносховищах, архівах, бібліотеках і підсобних будівлях і приміщеннях;
- температурні технологічні впливи від стаціонарного обладнання;
- вага відкладень промислового пилу, якщо його накопичення не виключене відповідними заходами;
- навантаження від людей, худоби, устаткування на перекриття житлових, громадських та сільськогосподарських будівель з квазіпостійними розрахунковими значеннями;
- вертикальні навантаження від мостових і підвісних кранів з квазіпостійними розрахунковими значеннями;
- снігові навантаження з квазіпостійними розрахунковими значеннями;
- температурні кліматичні впливи з квазіпостійними розрахунковими значеннями;

- впливи, обумовлені деформаціями основи, які не супроводжуються докорінною зміною структури ґрунту.

До **змінних короткочасних навантажень** належать:

– навантаження від устаткування, що виникають у пускозупинному, перехідному і випробувальному режимах, а також під час його перестановки чи заміни;

– вага людей, ремонтних матеріалів в зонах обслуговування і ремонту устаткування;

– навантаження від людей, худоби, устаткування на перекриття житлових, громадських та сільськогосподарських будівель;

– навантаження від рухомого підйомно-транспортного устаткування; д) снігові навантаження;

– температурні кліматичні впливи; ж) вітрові навантаження;

– ожеледні навантаження.

Тривалі та короткочасні навантаження перераховані скорочено і описані спрощено, детальніше розглянуто у ДБН В.1.2-2:2006 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проєктування. Зміна № 1» [1].

Розрізняють **характеристичні** (нормативні) та **розрахункові** навантаження.

Характеристичні (нормативні) навантаження встановлені нормами.

Розрахункові навантаження визначаються множенням характеристичних значень на коефіцієнт надійності за навантаженням γ_{fm} який залежить від виду навантаження.

Завдання 1

Визначити навантаження на 1 м² міжповерхового перекриття. Вузол конструкції підлоги наведено на рис. 3.1. Вихідні дані наведені в табл. 3.1. Номер варіанта відповідає номеру здобувача за списком у журналі.

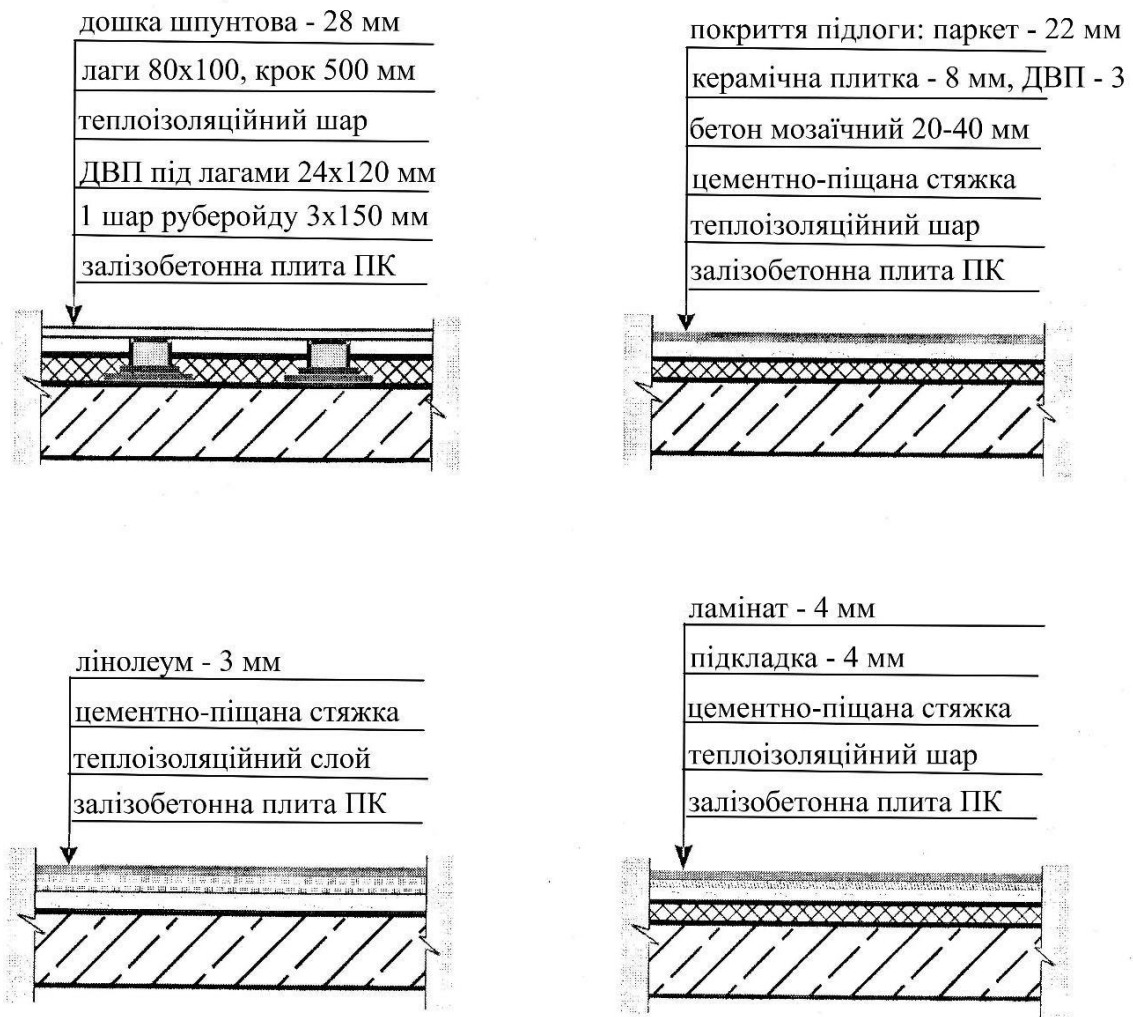


Рис. 3.1. Вузли підлог

Методика розрахунку

Встановлюється щільність будівельних матеріалів ρ згідно з табл. Д.1 додатка Д.

Встановлюється значення коефіцієнта надійності за навантаженням γ_{fm} згідно табл. Е.1 додатка Е.

Визначається маса плити перекриття за додатком Ж.

Визначені характеристики записуються поряд з вузлом конструкції підлоги (рис. 3.2).

Виконується збір навантажень на 1 м^2 перекриття в табличній формі (табл. 3.2).

Таблиця 3.1

Збір навантажень на 1 м² міжповерхового перекриття

№ вар	Тип підлоги	Товщина стяжки, мм	Товщина теплоізоляційного шару, мм	Марка плити перекриття	Призначення будівлі
1	2	3	4	5	6
1	Ламінат	40	Paroc, 50	ПК 63.10	Архів
2	Лінолеум	25	ГВЛ, 2 шари	ПК 60.10	Адміністрація
3	Паркет	30	Перліт, 100	ПК 63.15	Школа
4	Дошата	-	Rockwool, 75	ПК 60.15	Спортзал
5	Лінолеум	45	Roofmate, 75	ПК 48.12	Дитячий садок
6	Керамічна плитка	50	Пінополістирол, 75	ПК 51.12	Побутовий корпус
7	Паркет	30	Paroc, 125	ПК 48.18	Ресторан
8	Ламінат	40	Перліт, 60	ПК 51.18	Готель
9	Лінолеум	15	Paroc, 50	ПК 57.10	Поліклініка
10	Бетонна	25	URSAFOAM, 75	ПК 54.10	Зал очікування
11	Керамічна плитка	35	Пінополістирол, 50	ПК 57.15	Податкова інспекція
12	Лінолеум	30	ГВЛ, 2 шари	ПК 54.15	Їдальня
13	Паркет	20	ДВП, 24	ПК 57.12	Ліцей
14	Керамічна плитка	40	Пінополістирол, 50	ПК 54.12	Міський суд
15	ДВП	25	Paroc, 75	ПК 57.18	Ломбард

Продовження табл. 3.1

№ вар	Тип підлоги	Товщина стяжки, мм	Товщина теплоізоляційного шару, мм	Марка плити перекриття	Призначення будівлі
1	2	3	4	5	6
16	Ламінат	30	МВП, 80	ПК 54.18	Виставковий зал
17	ДВП	25	Roofmate, 65	ПК 51.10	Диспансер
18	Лінолеум	45	ДВП, 24	ПК 48.10	Пансіонат
19	Керамічна плитка	15	МВП, 125	ПК 51.15	Магазин
20	Паркет	40	Paroc, 40	ПК 48.15	Туристична фірма
21	Доцата	-	URSA,80	ПК 63.12	Тренажерний зал
22	Ламінат	15	Пінопласт, 50	ПК 60.12	Біржа
23	Лінолеум	35	ДВП, 24	ПК 63.18	Лабораторія
24	Паркет	45	МВП, 50	ПК 60.18	Офіс
25	Бетонна	30	Paroc, 70	ПК 63.10	Кафе
26	Паркет	15	Пінополістирол, 100	ПК 60.10	Концертна зала
27	Доцата	-	Ековата, 75	ПК 57.12	Казарма
28	ДВП	20	МВП, 40	ПК 51.18	Будинок квітів
29	Лінолеум	30	ГВЛ, 2 шар	ПК 54.15	Рибоохорона
30	Доцата	-	Isover, 60	ПК 48.12	Військкомат

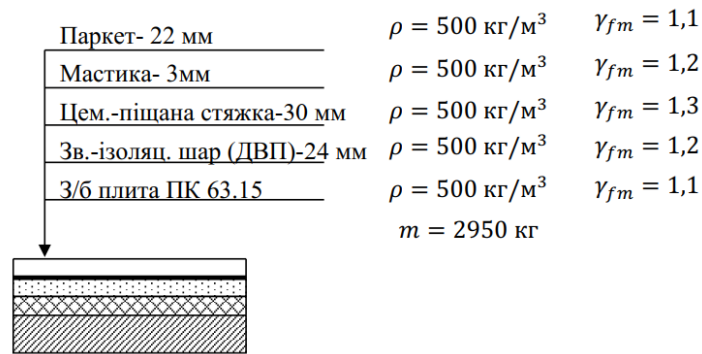


Рис. 3.2. Конструкція міжповерхового перекриття

Таблиця 3.2

Приклад виконання збору навантажень на 1 м² перекриття

№	Вид навантаження	Підрахунок	Характеристичне навантаження, Па	γ_{fm}	Розрахункове навантаження, Па
1	Паркет – 22 мм	$\rho \cdot t \cdot 10$			
2	Мастика – 3 мм	$\rho \cdot t \cdot 10$			
3	Цементно-піщана стяжка – 30 мм	$\rho \cdot t \cdot 10$			
4	Звукоізоляційний шар – 24 мм	$\rho \cdot t \cdot 10$			
5	Разом вага підлоги	1 + 2 + 3 + 4			
6	Вага залізобетонної плити	$\frac{m}{b \cdot l} \cdot 10$			
7	Разом постійне	5 + 6			
8	Тимчасові перегородки	*)			
9	Тимчасове (корисне)	табл. Е.2, додаток Е			
10	В т. ч. тривалої дії	$P_l = P \cdot 0,35$			
11	В т. ч. короткочасне	9 - 10			
12	Разом тривалої дії	7 + 8 + 10			
	Разом повне	7 + 8+9			
*) Для розрахунків прийняти вагу тимчасових перегородок 700 Па					

Для суцільних шарів конструкції підлоги (паркет, плитка, цементно-піщана стяжка) підрахунок нормативного навантаження ведеться за формулою:

$$g_n = \rho \cdot t \cdot 10,$$

де t – товщина шару, м.

Навантаження від ваги лаги і ДВП під лагами визначається за формулою:

$$g_n = \frac{p \cdot b \cdot h}{s} \cdot 10,$$

де $b \cdot h$ – перетин лаги, м;

s – крок лаг, м.

Розрахункове навантаження визначається за формулою:

$$g = g_n \cdot \gamma_{fm}, \text{ кПа.}$$

Навантаження від власної ваги плити розраховується за формулою:

$$g_n^{\text{пл}} = \frac{m}{b \cdot l} \cdot 10.$$

де b і l , м – номінальні розміри плити в плані, які визначаються по марці плити.

Наприклад: для з/б плити ПК 63.15: $l = 6,3$ м, $b = 1,5$ м

Вага тимчасових перегородок обчислюється за формулою:

$$g^{\text{пл}} = \rho \frac{t \cdot H \sum l}{A} \cdot 10,$$

де ρ – щільність матеріалу перегородок, кг/м³;

t – товщина перегородки, м;

H – висота поверху, м;

$\sum l$ – сумарна довжина всіх перегородок в межах однієї квартири площею A , м². Визначається за планом поверху.

В даному завданні, для розрахунків прийняти вагу тимчасових перегородок 700 Па.

Залежно від призначення приміщення визначається тимчасове (корисне) навантаження на перекриття за табл. Е.2 додатка Е.

У рядку 10 таблиці збору навантажень (табл. 3.2) тимчасовим тривало діючим нормативним навантаженням є знижене значення корисного навантаження. Знижене значення тимчасового навантаження визначається множенням нормативного значення на коефіцієнт 0,35.

Для визначення розрахункового значення тимчасового (корисного) навантаження коефіцієнт надійності прийняти $\gamma_{fm} = 1,2$, якщо $p_n \geq 2$ кПа і

$\gamma_{fm} = 1,3$, якщо $p_n < 2$ кПа.

Для тривало діючого і короткочасного корисного навантаження коефіцієнт γ_{fm} не зміниться.

Повне розрахункове навантаження на плиту перекриття без урахування власної ваги складає:

$$g = g^{\text{КВ.М}} - g^{\text{Пл}}$$

де $g^{\text{КВ.М}}$ – повне розрахункове навантаження на плиту;

$g^{\text{Пл}}$ – розрахункове навантаження від ваги залізобетонної плити.

Завдання 2

Визначити снігове навантаження на ферму покриття промислової будівлі, що знаходиться у м. Львів. Розміри ферми задано на рис. 3.3, крок ферм 6 м.

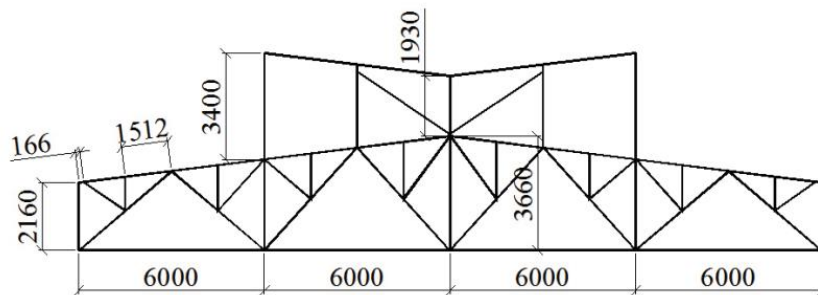


Рис. 3.3. Геометрична схема ферми

Методика розрахунку

1. Визначення нормативного снігового навантаження

За ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [1] (карта снігових районів України):

Львів належить до III снігового району.

Нормативна інтенсивність снігового навантаження:

$$S_0 = 1,2 \text{ кПа (120 кг/м}^2\text{)}$$

2. Розрахункове значення

$$S = \gamma_f \cdot \mu \cdot S_0,$$

де $\gamma_f = 1,4$ – коефіцієнт надійності за навантаженням (для снігу);

μ – коефіцієнт форми (залежить від ухилу покрівлі).

Припустимо: ухил покрівлі $\leq 30^\circ$, тоді $\mu = 1,0$.

$$S=1,4 \cdot 1,0 \cdot 1,2=1,68 \text{ кПа}=168 \text{ кг/м}^2.$$

Оскільки є ліхтар, то згідно з [1] приймаємо 2 варіанти завантаження ферми сніговим навантаженням (рис. 3.4).

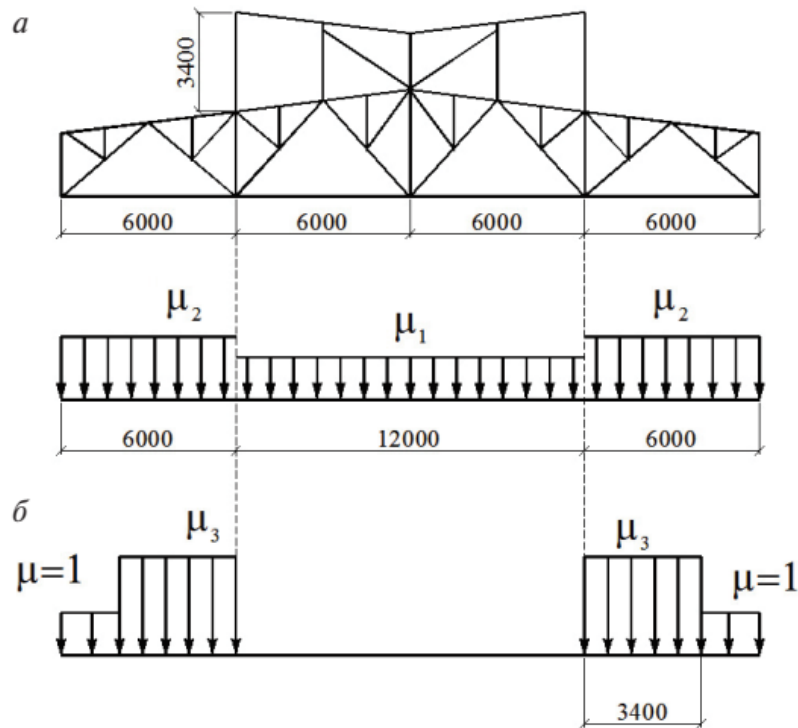


Рис. 3.4. Варіанти снігового навантаження на ферму: а – варіант 1; б – варіант 2

Розрахунок і числовий розподіл снігового навантаження по вузлах верхнього поясу ферми для двох варіантів (без і з накопиченням снігу біля віконного ліхтаря).

Відповідно до [1, дод. Ж], використовуємо схему 3 – будівлі з поздовжніми ліхтарями, закритими зверху (рис. 3.5).

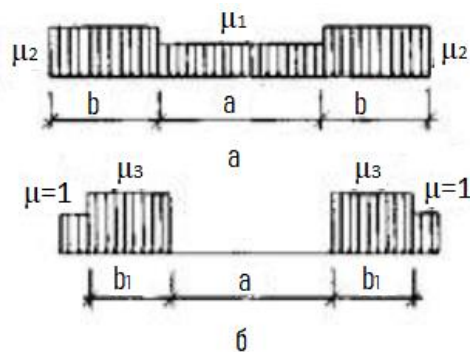


Рис. 3.5. Схема 3. Будівлі з поздовжніми ліхтарями, закритими зверху:
а – варіант 1; б – варіант 2

Центральній частині $a=12000$ мм відповідає коефіцієнт $\mu_1=1$; бічні 6000 мм відповідає коефіцієнт μ_2 ; локальному накопичувальному поясу над ліхтарем шириною ≈ 3400 мм відповідає коефіцієнт μ_3 .

$\mu_1 = 0,8$ – (центральна рівномірна частина);

$\mu_2 = 1 + 0,1a / b \rightarrow \mu_2 = 1 + 0,1 \cdot 12 / 6 = 1,2$ – (нахилені ділянки покрівлі – менше снігу);

$\mu_3 = 1 + 0,5a / b_1 \rightarrow \mu_3 = 1 + 0,5 \cdot 12 / 3,4 = 2,75 > 2,5$ – (локальний занос біля ліхтаря – підвищене накопичення).

Отже, приймаємо $\mu_3 = 2,5$.

Визначимо зосереджені сили, які у вузлах ферми від дії снігового навантаження (рис. 3.6).

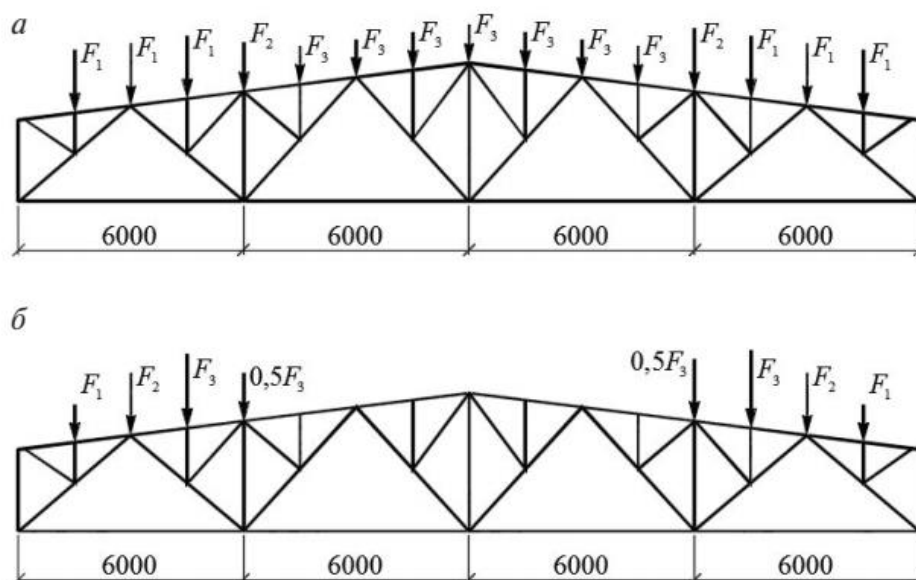


Рис. 3.6. Варіанти вузлового снігового навантаження на ферму:
а – варіант 1; б – варіант 2

Варіант 1

$$F_1 = \mu_2 S B d \gamma_n = 1,2 \cdot 1,68 \cdot 6 \cdot 1,512 \cdot 1 = 18,29 \text{ кН};$$

$$F_3 = \mu_1 S B d \gamma_n = 0,8 \cdot 1,68 \cdot 6 \cdot 1,512 \cdot 1 = 12,19 \text{ кН};$$

де B – крок ферм ($B = 6$ м);

d – довжина панелі верхнього поясу ферми ($d = 1,512$ м);

γ_n – коефіцієнт надійності за призначенням будівлі ($\gamma_n = 1$).

$$F_2 = \frac{F_1}{2} + \frac{F_3}{2} = \frac{18,29}{2} + \frac{12,19}{2} = 15,25 \text{ кН.}$$

Варіант 2

$$F_1 = SBd\gamma_n = 1,68 \cdot 6 \cdot 1,512 \cdot 1 = 15,24 \text{ кН;}$$

$$F_2 = S(\mu_3 \cdot 1,156 + \mu \cdot 0,356)B\gamma_n =$$

$$= 1,68(2,5 \cdot 1,156 + 1 \cdot 0,356) \cdot 6 \cdot 1 = 32,72 \text{ кН;}$$

$$F_3 = \mu_3 SBd\gamma_n = 2,5 \cdot 1,68 \cdot 6 \cdot 1,512 \cdot 1 = 38,1 \text{ кН;}$$

Завдання для самостійної роботи

Завдання 1

Виконати збір снігового навантаження на ферму. Вихідні дані прийняти за табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Вихідні дані для обчислення снігового навантаження на ферму

№ варіанту	Проліт ферми, м	Крок вузлів по верхньому поясу ферми, d, м	Крок ферми, м	Ширина ліхтаря В, м	Висота ліхтаря h, м	Довжина та ширина будівлі, м	Район будівництва
1	24	3	6	6	3	120×48	Одеса
2	30	3	12	12	4	156×90	Дніпро
3	36	3	4	6	4	120×36	Київ
4	24	3	4	12	3	72×72	Харків
5	30	3	6	6	4	90×60	Суми
6	36	3	12	0	0	180×108	Полтава
7	24	3	12	0	0	144×48	Рівне
8	30	3	4	0	0	144×30	Ужгород
9	36	3	6	0	0	120×72	Луцьк
10	30	3	5	0	0	180×90	Херсон
11	36	3	6	6	3	180×108	Хмельницький
12	30	3	12	12	4	156×90	Севастополь
13	36	3	4	6	4	120×36	Вінниця
14	30	3	4	12	3	72×72	Ковель
15	30	3	6	6	4	90×60	Донецьк
16	36	3	12	0	0	180×108	Житомир

17	24	3	12	0	0	144×48	Запоріжжя
18	30	3	4	0	0	144×30	Івано-Франківськ
19	36	3	6	0	0	120×72	Кропивницький
20	30	3	5	0	0	180×90	Черкаси

Контрольні питання:

1. Як у нормативних документах визначається поняття навантаження та впливи?
2. Які основні види навантажень діють на будівельні конструкції?
3. Як класифікують навантаження за тривалістю дії?
4. Наведіть приклади постійних навантажень.
5. Які навантаження належать до тимчасових та як вони визначаються?
6. Як при проектуванні конструкцій враховуються снігові навантаження?
7. Як визначається вітрове навантаження і від яких факторів воно залежить?
8. Що таке корисне навантаження і як воно нормується для різних будівель та споруд?
9. Які особливі навантаження передбачаються нормами?
10. Яка різниця між розрахунковими та нормативними значеннями навантажень?
11. Що таке коефіцієнти надійності за навантаженням і як вони застосовуються?
12. Чим відрізняються короточасні та довготривалі впливи на конструкцію?
13. Як визначається вплив температурних деформацій на будівлі та споруди?
14. Що таке динамічні навантаження і як вони відрізняються від статичних?
15. Як враховується нерівномірність осадки основи в розрахунках конструкцій?
16. У чому полягає відмінність між навантаженнями для житлових, громадських та промислових будівель?
17. Чому важливо враховувати одночасну дію кількох навантажень при проектуванні?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4
РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ТА З'ЄДНАНЬ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ
ЗА ДБН В.2.6-198:2014

Мета заняття: вивчити методики розрахунків елементів сталевих конструкцій за ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції» при згині, центральному та позацентровому стиску й розтягу, а також методики розрахунку та конструювання зварних і болтових з'єднань.

Після вивчення теми здобувачі вищої освіти повинні вміти:

- розраховувати стиснуті елементи (колони, розкоси, стійки) з урахуванням поздовжньої сили та стійкості;
- розраховувати розтягнуті елементи (тяги, в'язі) з урахуванням міцності та конструктивних вимог;
- перевіряти зігнуті елементи (балки, ригелі, ферми) за міцністю та жорсткістю;
- розраховувати елементи, що працюють на згин із стиском або розтягом (наприклад, колони з позацентровим стиском);
- проєктувати та перевіряти з'єднання за критеріями несучої здатності й експлуатаційної придатності при різних видах деформацій.

Перелік завдань практичного заняття. На занятті здобувачі вищої освіти розв'язують за індивідуальними завданнями, згідно із вказівками викладача, кілька інженерних завдань за наступними темами:

1. Перевірка міцності та жорсткості елемента при згині, визначення його несучої здатності за критеріями міцності та жорсткості;
2. Перевірка стійкості та визначення несучої здатності центрально стиснутого і центрально розтягнутого стрижня;
3. Перевірка міцності та стійкості позацентрово стиснутого стрижня в площині дії згинального моменту.
4. Проєктний розрахунок напускного з'єднання смуги з листом за допомогою лобових і флангових зварних кутових швів.

5. Визначення несучої здатності з'єднання смуг двосторонніми накладками на болтах, що працюють на зріз.

6. Проектний розрахунок фрикційного з'єднання на високоміцних болтах.

Нижче викладені алгоритми розв'язання цих завдань з посиланнями на нормативну та довідкову літературу, якою здобувачі вищої освіти повинні користуватися у процесі роботи. З метою роз'яснення порядку виконання розрахунків, встановлення та перетворення розмірностей розрахункових параметрів алгоритми супроводжуються числовими прикладами. Результати розрахунків заносяться до бланку індивідуального завдання й оцінюються викладачем.

Завдання 1. Розрахунок елемента при згині

Виконати перевірку міцності та жорсткості шарнірно обпертої балки при таких даних: проліт $L=8,2$ м; крок $B=2,4$ м; переріз – прокатний двотавр 30Б1; матеріал – сталь С 245; коефіцієнт умов роботи $\gamma_c=1$; експлуатаційне й граничне розрахункове значення навантаження на перекриття $p_e=3400$ Па; $p_m=4200$ Па; коефіцієнт відповідальності $\gamma_n=1$; допустимий відносний прогин – $[f/L]=1/250$

Методика розрахунку

1. Визначаємо експлуатаційне та граничне розрахункове значення погонного навантаження на балку за формулами, у яких ділення на 1000 забезпечує перехід від рівномірно розподіленого навантаження в Паскалях до погонного навантаження на балку в кН/м:

$$q_e = B \times p_e = 2,4 \times 3400 / 1000 = 8,16 \text{ кН/м};$$

$$q_m = B \times p_m = 2,4 \times 4200 / 1000 = 10,08 \text{ кН/м}.$$

2. Обчислюємо розрахункові значення моменту та поперечної сили

$$M_e = \frac{q_e \cdot L^2}{8} = \frac{8,16 \cdot 8,2^2}{8} = 68,6 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$M_m = \frac{q_m \cdot L^2}{8} = \frac{10,08 \cdot 8,2^2}{8} = 84,7 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$Q_m = \frac{q_m \cdot L}{2} = \frac{10,08 \cdot 8,2}{2} = 41,3 \text{ кН.}$$

3. За сортаментом з [9] визначаємо геометричні характеристики поперечного перерізу: товщину полицки $t_f = 8,5$ мм та стінки $t_w = 5,8$ мм, момент інерції $I_x = 6320 \text{ см}^4$, момент опору $W_x = 424 \text{ см}^3$, статичний момент половини перерізу $S_x = 240 \text{ см}^3$ відносно осі більшої жорсткості.

4. За методикою, викладеною в алгоритмі до практичного заняття №1, даними використанням ДСТУ [4] та формулами з таблиці 7.1 ДБН [2] визначаємо розрахункові опори сталі: $R_y = 240 \text{ МПа} = 24 \text{ кН/см}^2$ (залежно від класу сталі та товщини полицки $t_f = 8,5$ мм); $R_s = 0,58 R_y = 0,58 \cdot 24 = 13,9 \text{ кН/см}^2$.

5. За формулою (9.1) ДБН [2] виконуємо перевірку міцності перерізу балки за нормальними напруженнями в пружній стадії роботи сталі:

$$\frac{M_m \gamma_n}{W_{n,min} R_y \gamma_c} = \frac{100 \cdot 84,7 \cdot 1}{424 \cdot 24 \cdot 1} = 0,833;$$

Множення чисельника на 100 забезпечує перетворення величини згинального моменту з розмірності кН×м до кН×см.

6. За формулою (9.2) ДБН [2], у якій товщина стінки виражена в сантиметрах, виконуємо перевірку міцності стінки за дотичними напруженнями:

$$\frac{Q_m S_x \gamma_n}{I_x t_w R_s \gamma_c} = \frac{41,3 \cdot 240 \cdot 1}{6320 \cdot 0,58 \cdot 13,9 \cdot 1} = 0,194.$$

7. Перевірку жорсткості можна виконувати за наближеною формулою, придатною для різних схем навантаження балок на двох шарнірних опорах:

$$\frac{f}{L} = \frac{M_e \cdot L \cdot \gamma_n}{10 E I_x} = \frac{6860 \cdot 820 \cdot 1}{10 \cdot 20600 \cdot 6320} = \frac{1}{231} > \left[\frac{f}{L} \right] = \frac{1}{250}.$$

У цю формулу згинальний момент підставлений у кН×см, а проліт балки – у сантиметрах. Величина модуля пружності за [табл. Б.1, 2] виражена в прийнятій нами розмірності напружень: $E = 20600 \text{ кН/см}^2$. При виконанні обчислень рекомендується розділити знаменник формули на її чисельник і записати отриману величину до знаменника результату.

Результати виконаних розрахунків показали, що перевірена балка відповідає вимогам [2] щодо міцності за нормальними (запас міцності 16,7%) та дотичними напруженнями (запас міцності 80,6%), але має занадто великий прогин. Оскільки

балка не відповідає вимогам другої групи граничних станів, її експлуатація неможлива.

Завдання 2. Розрахунок центрально навантаженого стрижня

Виконати перевірку стійкості та визначити несучу здатність стрижня, шарнірно закріпленого на кінцях, при центральному стиску та розтягу при таких даних: довжина стрижня $L = 2,4$ м; переріз – кутик $\perp 100 \times 8$; матеріал – сталь С 255; граничне розрахункове значення поздовжньої сили $N = 150$ кН; коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1$; коефіцієнт відповідальності $\gamma_n = 1$.

Методика розрахунку

1. За сортаментом прокатних рівнобічних кутиків з [9] визначаємо геометричні характеристики поперечного перерізу: площу $A = 15,6$ см² і радіус інерції відносно осі найменшої жорсткості $i = 1,98$ см.

2. За методикою, викладеною в практичному занятті № 1, з урахуванням товщини фасонного прокату $t = 8$ мм визначаємо розрахунковий опір сталі С 255: $R_y = 250$ МПа = $25,0$ кН/см².

3. Оскільки при шарнірному закріпленні кінців стержня коефіцієнт розрахункової довжини $\mu = 1$, гнучкість та умовна гнучкості стрижня для визначення коефіцієнта стійкості за пунктом 8.1.3 [2] дорівнюють:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} = \frac{240}{1,98} = 121;$$
$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 121 \cdot \sqrt{\frac{25}{20600}} = 4,22$$

4. Згідно з [табл. 8.1, 2], розрахунок слід вести за кривою стійкості типу b , для якої за табл. Г.1 та Г.2 з додатку Г отримуємо коефіцієнт стійкості $\varphi = 0,419$.

5. Виконуємо перевірку стійкості за формулою (8.3) [2]:

$$\frac{N \gamma_n}{\varphi A R_y \gamma_c} = \frac{150 \times 1}{0,419 \times 15,6 \times 25 \times 1} = 0,92 < 1.$$

6. Граничні несучі здатності стрижня при розтягу N_t та при стиску N_c ,

згідно з формулами (8.1) і (8.3) [2], дорівнюють:

$$N_t = A R_y \gamma_c / \gamma_n = 15,6 \times 25 \times 1 / 1 = 390 \text{ кН.}$$

$$N_c = \varphi A R_y \gamma_c / \gamma_n = 0,419 \times 15,6 \times 25 \times 1 / 1 = 163,4 \text{ кН.}$$

Порівняння значень N , N_c і N_t показує, що стрижень може витримати стискаюче навантаження на 13,4 кН більше від заданого, а його несуча здатність при розтягу в 2,4 рази більша, ніж при стиску.

Завдання 3. Визначення несучої здатності розтягнутих та стислих елементів

Визначити несучу здатність двотавра №20, працюючого на розтяг, сталь С245.

$$\gamma_c = 1.$$

Методика розрахунку

1. З сортаменту табл. В.1 додатка В: для двотавра №20 площа дорівнює $A = 38,95 \text{ см}^2$. Відповідно до табл. А.1 додатка А для сталі С245 $R_y = 240 \text{ МПа} = 24,0 \text{ кН/см}^2$ (при товщині від 2 до 20 мм).

2. Розрахунок на міцність виконують за формулою:

$$\frac{N}{A R_y \gamma_c} \leq 1,$$

звідки визначимо несучу здатність під час роботи на розтяг

$$N = 38,95 \cdot 10^{-4} \cdot 240 \cdot 10^3 \cdot 1 = 934,8 \text{ кН.}$$

Завдання 4. Визначення несучої здатності центрально стислих елементів

Визначити несучу здатність центрально стиснутої стійки перетином, наведеним на рис. 4.1. Сталь С245, стійка завдовжки 8 м зацемлена в фундаменті та вгорі має шарнірне закріплення, $\gamma_c = 1$.

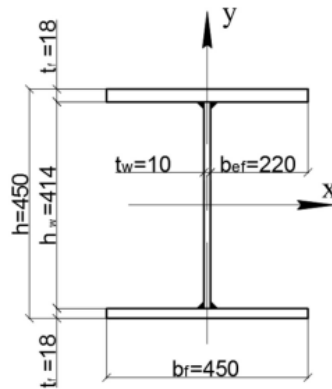


Рис. 4.1. Перетин стійки

Методика розрахунку

1. Відповідно до табл. А.1 додатка А для сталі С 245 $R_y = 240 \text{ МПа} = 24,0 \text{ кН/см}^2$ (при товщині від 2 до 20 м).

2. Розрахунок ведемо відповідно до формули $\frac{N}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1$.

Перетин стійки симетричний, центр ваги знаходиться посередині перерізу.

3. Геометричні характеристики перетину:

– площа перетину:

$$A = 2b_f t_f + h_w t_w = 2 \cdot 45 \cdot 1,8 + 41,4 \cdot 1 = 203,4 \text{ см}^2;$$

– моменти інерції перетину:

$$I_x = \frac{t_w h_w^3}{12} + 2 \left(\frac{b_f t_f^3}{12} + b_f t_f \left(\frac{h_w + t_w}{2} \right)^2 \right) =$$

$$= \frac{1 \cdot 41,4^3}{12} + 2 \left(\frac{45 \cdot 1,8^3}{12} + 45 \cdot 1,8 \left(\frac{41,4 + 1}{2} \right)^2 \right) = 81539,6 \text{ см}^4.$$

$$I_y = 2 \left(\frac{t_f b_f^3}{12} \right) = 2 \left(\frac{1,8 \cdot 45^3}{12} \right) = 27337,5 \text{ см}^4.$$

– радіуси інерції перетину:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{81539,6}{203,4}} = 20,02 \text{ см}; \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{27337,5}{203,4}} = 11,59 \text{ см}.$$

4. Визначимо гнучкість перетину:

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{560}{20,02} = 30; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{560}{11,59} = 48,3;$$

де $l_x = l_y = \mu \cdot l = 0,7 \cdot 800 = 560$ см – розрахункова довжина стрижня.

За $\lambda_{\max}=48,3$ визначаємо умовну гнучкість за формулою:

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 48,3 \sqrt{\frac{25,0}{20600}} = 1,68.$$

За табл. Г.1 додатка Г або [табл. Ж.1 додатка Ж, 2] визначимо з інтерполяції $\varphi_{\min}=0,881$. Тоді несуча здатність стійки дорівнюватиме:

$$N = 0,881 \cdot 203,4 \cdot 10^{-4} \cdot 240 \cdot 10^3 \cdot 1 = 4300,7 \text{ кН.}$$

Завдання 5. Розрахунок позацентрово стиснутого стрижня

Виконати перевірку стійкості в площині дії згинального моменту позацентрово стиснутого стержня з вільним верхнім кінцем та жорстким закріпленням у фундаменті при таких даних: довжина $L = 2,8$ м; граничні розрахункові значення поздовжньої сили $N = 120$ кН і згинального моменту $M = 11,4$ кН·м; переріз – прямокутний гнутозамкнутий профіль Гн 140×60×6; матеріал конструкції – сталь С 235; коефіцієнт умов роботи $\gamma_s = 1$; коефіцієнт відповідальності $\gamma_n = 1$.

Методика розрахунку

1. За сортаментом гнутих замкнутих профілів [9] визначаємо геометричні характеристики поперечного перерізу: площу $A = 22,8$ см², момент опору $W = 65,6$ см³ і радіус інерції відносно осі більшої жорсткості $i = 4,68$ см.

2. За методикою, викладеною в практичному занятті № 1, з урахуванням товщини листового прокату $t = 6$ мм визначаємо розрахунковий опір сталі С 235: $R_y = 230$ МПа = 23,0 кН/см².

3. Згідно з табл. 13.7 [2] при жорстко закріпленому нижньому та вільному верхньому кінці стрижня коефіцієнт розрахункової довжини $\mu = 2$. Гнучкість та умовна гнучкість стрижня дорівнюють:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i} = \frac{\mu \cdot L}{i} = \frac{2 \cdot 280}{4,68} = 120;$$

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 120 \cdot \sqrt{\frac{23}{20600}} = 4,00.$$

4. Відносний ексцентриситет навантаження за п. 10.2.2 [2]:

$$m_x = \frac{eA}{W_c} = \frac{MA}{NW_c} = \frac{1140 \cdot 22,8}{120 \cdot 65,6} = 3,30.$$

5. Відношення площ полицки й стінки профілю дорівнює

$$\frac{A_f}{A_w} = \frac{60 \cdot 6}{2 \cdot (140 - 12) \cdot 6} = 0,23.$$

6. Коефіцієнт впливу форми перерізу визначаємо за формулою з рядка 5 табл. Ж.2 [2], яка приблизно відповідає $A_f/A_w=0,23 \approx 0,25:1,285$:

$$\eta = (1,45 - 0,05 m_x) - 0,01 (5 - m_x) \lambda = (1,45 - 0,05 \times 3,3) - 0,01 (5 - 3,3) \times 4,0 = 1,214.$$

7. Приведений відносний ексцентриситет за формулою (10.7) [2] дорівнює $m_{ef} = \eta m_x = 1,214 \times 3,30 = 4,01$.

8. Коефіцієнт стійкості при позакентровому стиску стрижня визначається залежно від умовної гнучкості $\bar{\lambda} = 4,00$ за п. 3 та приведенного відносного ексцентриситету $m_{ef} = 4,01$ за п. 7. За [табл. Ж.3, 2] отримуємо $\varphi_e = 0,181$.

9. Перевірка стійкості виконується за формулою (10.6) [2]:

$$\frac{N \gamma_n}{\varphi_e A R_y \gamma_c} = \frac{150 \cdot 1}{0,181 \cdot 22,8 \cdot 23 \cdot 1} 1,580 > 1.$$

Перевірка показала, що стійкість позакентрово стиснутого стрижня в площині дії згинального моменту не забезпечена, що вимагає збільшення перерізу.

Завдання 6. Розрахунок зварних з'єднань стиковими зварними швами

Розрахувати зварне з'єднання сталевий смуги, що працює на розтяг, встик, виконане електродуговим ручним зварюванням візуальним контролем (рис. 4.2). Розмір смуги 300×20 мм, сталь С245, розтягувальна сила $N = 1150$ кН, електроди Е42.

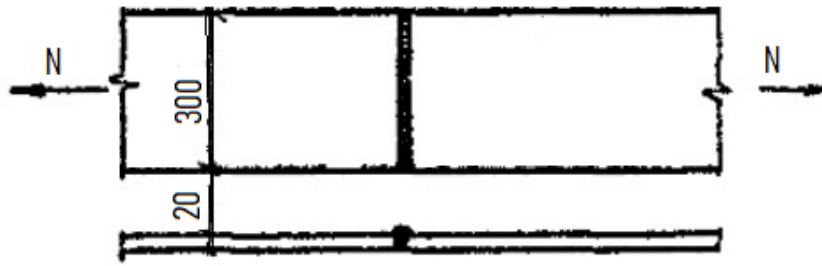


Рис. 4.2. З'єднання стиковим швом

Методика розрахунку

1. Відповідно до табл. А.1 додатка А для сталі С 245 $R_y = 240 \text{ МПа} = 24,0 \text{ кН/см}^2$ (при товщині від 2 до 20 мм).

2. Перевірка міцності шва виконується за формулою:

$$\sigma_{w,N} = \frac{N}{t_w l_w \gamma_c} = \frac{1150 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot (30 - 2 \cdot 2) \cdot 1 \cdot 10^{-4}} = 221,15 \text{ МПа} > R_{wy} = 204 \text{ МПа},$$

де $R_{wy} = 0,85R_y = 0,85 \cdot 240 = 204 \text{ МПа}$.

3. Так як міцність шва не забезпечена виконуємо зварний шов на вивідні планки (рис. 4.3, б), тоді $l_w = 30 \text{ см}$.

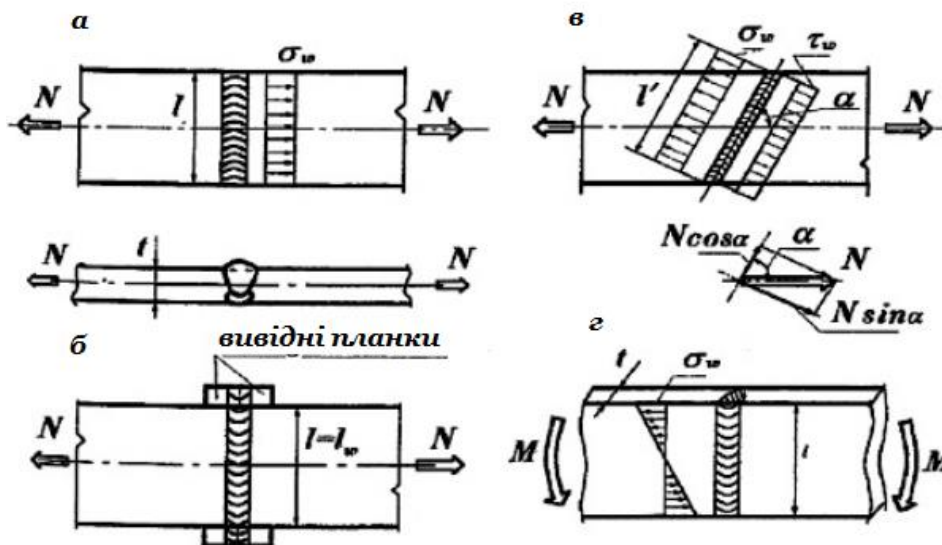


Рис. 4.3. До розрахунку стикових з'єднань на поздовжню силу: а) – листів; б) – листів із планками, в) – листів із косим швом; г) – листів на згин.

4. Перевіряємо міцність шва:

$$\sigma_{w,N} = \frac{N}{t_w l_w \gamma_c} = \frac{1150 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 30 \cdot 1 \cdot 10^{-4}} = 191,6 \text{ МПа} < R_{wy} = 204 \text{ МПа}.$$

Міцність шва забезпечено.

Завдання 7. Розрахунок з'єднання кутовими зварними швами

Визначити необхідну величину напуску смуги перерізом $b_c \times t_c = 120 \times 16$ мм на лист товщиною $t_l = 10$ мм, необхідну для прикріплення смуги лобовими та фланговими зварними швами згідно з рис. 4.4. З'єднання розрахувати на величину несучої здатності смуги при розтягу з урахуванням коефіцієнта умов роботи $\gamma_c = 1$ та коефіцієнта відповідальності $\gamma_n = 1$. Матеріал з'єднуваних елементів – сталь С 245, зварювання ручне електродами Е-42А. Катети швів приймають максимально можливої величини з урахуванням стандартних розмірів $k_f = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16$ мм.

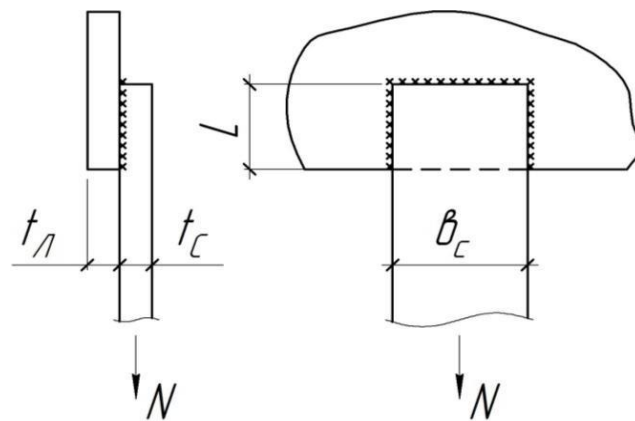


Рис. 4.4. Конструкція напускового з'єднання до завдання 7

Методика розрахунку

1. За методикою, викладеною в практичному занятті №1, визначаємо характеристичний і розрахунковий опір листового прокату (більшої товщини) зі сталі С 245: $R_{un} = 37$ кН/см², $R_y = 24$ кН/см².

2. Несучу здатність смуги при розтягу обчислюємо з формули (1.4.1) [2] з урахуванням розрахункового опору $R_y = 24$ кН/см² і площі поперечного перерізу смуги розмірами $12 \times 1,6$ см

$$N = A_n R_y \gamma_c / \gamma_n = 12 \times 1,6 \times 24 \times 1 / 1 = 460,8 \text{ кН.}$$

3. За [табл. Д.2, 2] визначаємо розрахунковий опір кутових швів, якими з'єднуються елементи зі сталі класу міцності С315 і нижче, у площині наплавленого металу (за металом шва): $R_{wf} = 18$ кН/см². Розрахунковий опір у площині металу границі сплавлення (за металом границі сплавлення) визначається за формулою з [табл. 7.3, 2] через характеристичний опір листового прокату: $R_{wz} = 0,45 \times R_{un} = 0,45 \times 37 = 16,7$ кН/см².

4. За вказівками пункту 16.1.5 [2] визначаємо максимально можливий катет кутового шва з округленням до найближчого меншого стандартного розміру: $k_f \leq t_c = 16$ мм, $k_f \leq 1,2 \times t_l = 12$ мм. Прийнято $k_f \leq 12$ мм.

5. За [табл. 16.2, 2] залежно від виду зварювання (ручне) положення (нижнє) і катету зварних швів ($k_f = 12$ мм) визначаємо коефіцієнти форми шва $\beta_f = 0,7$ і $\beta_z = 1,0$.

6. З формул (16.2) та (16.3) [2] визначаємо необхідні розрахункові довжини зварних швів з умов міцності у площині металу шва і в площині межі сплавлення:

$$l_{wf} = \frac{N\gamma_n}{\beta_f k_f R_{wf} \gamma_c} = \frac{460,8 \cdot 1}{0,7 \cdot 1,2 \cdot 18 \cdot 1} = 30,5 \text{ см.}$$

$$l_{wz} = \frac{N\gamma_n}{\beta_z k_f R_{wz} \gamma_c} = \frac{460,8 \cdot 1}{1,0 \cdot 1,2 \cdot 16,7 \cdot 1} = 23,0 \text{ см.}$$

7. Необхідна довжина напуску визначається за більшою розрахунковою довжиною зварного шва з урахуванням довжини лобових швів, рівної ширині смуги $b_c = 12$ см, та непровару довжиною k_f (при конструкції з'єднання за рис. 4.4 непровари на обох кінцях шва знаходяться один напроти одного)

$$L = (30,5 - 12) / 2 + 1,2 = 10,5 \text{ см.}$$

Перетворивши отриману величину в міліметри з округленням до 10 мм у більшу сторону, остаточно приймаємо напуск величиною $L = 110$ мм.

Прикріплення смуги перерізом 120×16 мм зі сталі С 245 слід здійснювати лобовими й фланговими кутовими швами катетом 12 мм при величині напуску 110 мм.

Завдання 8. Розрахунок болтових з'єднань, що працюють на центральний розтяг

Розрахувати болтове з'єднання двох листів 360×20 мм із двома накладками, що працюють на центральний розтяг силою $N = 1200$ кН (рис. 4.5) Сталь листів С255. Клас точності болтів В, $\gamma_c = 1$

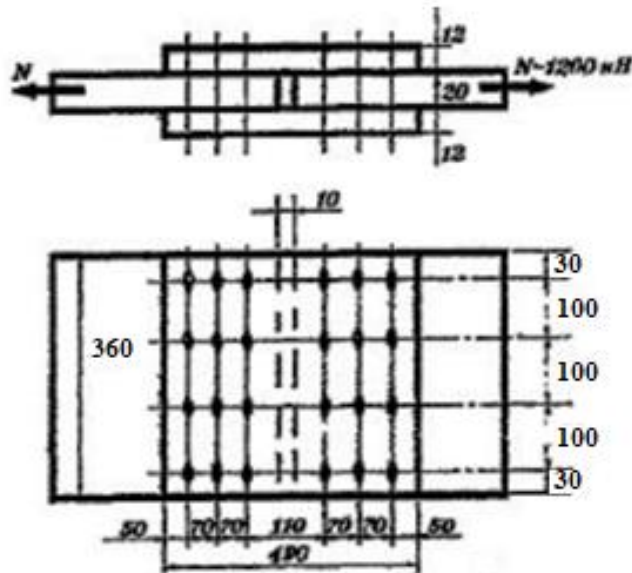


Рис. 4.5. Конструкція стику на болтах

Методика розрахунку

1. Призначаємо накладки товщиною $t=12$ мм, шириною, що дорівнює ширині листа. Відповідно до табл. А.1 додатка А для сталі С 255 $R_y=240$ МПа= $24,0$ кН/см² (при товщині понад 10 до 20 мм), $R_u=360$ МПа.

2. Приймаємо діаметр болтів $d=20$ мм (болти М20) класу міцності 5.6, за [табл. Д.4, 2] визначаємо розрахунковий опір зрізу болтів класу міцності 5.6 $R_{bs} = 210$ МПа = 21 кН/см² і на зминання за [табл. Д.5, 2] $R_{bp} = 475$ МПа. Кількість майданчиків зрізу $n_s=2$ (кількість пластин, що з'єднуються); найменша товщина елементів, що зминаються в одному напрямку $\sum t=20$ мм. Коефіцієнт умов роботи фрикційного з'єднання, що залежить від кількості болтів у з'єднанні і приймається таким, що дорівнює: 0,8 при $n < 5$; 0,9 при $5 \leq n < 10$; і 1,0 при $n \geq 10$ (п. 16.3.4 [2]) $\gamma_b = 1,0$ або визначається за табл. 16.4 [2].

3. Визначаємо площу поперечного перерізу стрижня болта

$$A_b = 0,78d_b^2 = 0,78 \cdot 2^2 = 3,12 \text{ см}^2.$$

d_b – зовнішній діаметр стрижня болта;

4. Визначимо розрахункове зусилля, яке може бути сприйняте одним болтом
– на зріз

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot A \cdot n_s = 21 \cdot 1 \cdot 3,12 \cdot 2 = 131,1 \text{ кН.}$$

– на зминання

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot d \cdot \sum t_{min} = 47,5 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2 = 190 \text{ кН.}$$

5. Кількість болтів з одного боку стику визначаємо за формулою

$$n = \frac{N}{N_{bmin} \cdot \gamma_c} = \frac{1200}{131,1 \cdot 1} = 9,15, \text{ приймаємо } 12 \text{ болтів, їх розташування наведено}$$

на рис. 4.5. Отвори для болтів прийняті $d_o = 21 \text{ мм.}$

де N_{bmin} – найменше значення розрахункового зусилля, яке може бути сприйнято одним болтом.

Перевіримо міцність листа по ослабленому перерізу

$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{1200}{(36 - 4 \cdot 2,1) \cdot 2} = 21,7 \text{ кН/см}^2 = 217 \text{ МПа} < R_y = 240 \text{ МПа.}$$

Міцність забезпечена.

Завдання 9. Розрахунок з'єднання на болтах, що працюють на зріз

Визначити несучу здатність показаного на рис. 4.6 з'єднання смуг із сталі С 255 перерізом $140 \times 16 \text{ мм}$ двосторонніми накладками перерізом $140 \times 12 \text{ мм}$. З'єднання виконане на болтах діаметра 16 мм класу точності В, класу міцності 5.6. Загальна кількість болтів у з'єднанні – 8. Коефіцієнти умов роботи болтового з'єднання прийняти рівними: при зрізі – $\gamma_b = 1$, при зминанні елементів під болтами класу точності А – $\gamma_b = 1$, при зминанні елементів під болтами класів точності В, С в багатоболтовому з'єднанні – $\gamma_b = 0,9$. Загальний коефіцієнт умов роботи конструкції $\gamma_c = 1$, а коефіцієнт відповідальності $\gamma_n = 1$.

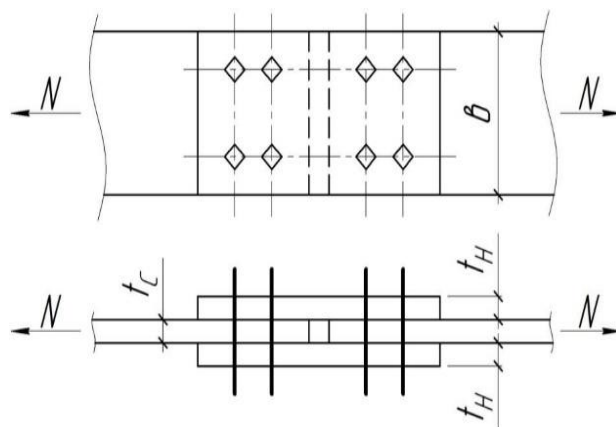


Рис. 4.6. Конструкція з'єднання з накладками до завдання 9

Методика розрахунку

1. За [табл. Д.4, 2] визначаємо розрахунковий опір зрізу болтів класу

міцності 5.6 $R_{bs} = 21 \text{ кН/см}^2$.

2. За [4], витяг з якого наведений в табл. И.1 додатку И, визначаємо тимчасовий опір сталі з'єднаних елементів С 255 товщиною 16 мм: $R_{un} = 37 \text{ кН/см}^2$. Згідно з [табл. Д.5, 2], розрахунковий опір зминанню елементів під болтами класу точності В становить $R_{bp} = 48,5 \text{ кН/см}^2$.

3. Площа перерізу болта обчислюється за його номінальним діаметром 16 мм за формулою з п. 16.2.9 [2]: $A_b = 0,78 \cdot d_b^2 = 0,78 \cdot 1,6^2 = 2,00 \text{ см}$.

4. Менша сума товщин елементів, що зминаються в одному напрямку $\Sigma t = 16 \text{ мм}$, визначається за конструкцією з'єднання.

5. Коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання повинен визначатися за [табл. 16.4, 2] залежно від кількості, розміщення й класу точності болтів. Згідно з умовами задачі для багатоболтового з'єднання на болтах класу точності В приймаємо при зрізі $\gamma_b = 1$, а при зминанні $\gamma_b = 0,9$.

6. За формулами (16.12) і (16.13) [2] визначаємо несучу здатність одного болта при зрізі (2 площини зрізу) та зминанні:

$$N_{bs} = R_{bs} A_b n_s \gamma_b \gamma_c = 21,0 \times 2,00 \times 2 \times 1 \times 1 = 84,0 \text{ кН};$$

$$N_{bp} = R_{bp} d_b \Sigma t_{min} \gamma_b \gamma_c = 48,5 \times 1,6 \times 1,4 \times 0,9 \times 1 = 97,8 \text{ кН}.$$

7. За меншою несучою здатністю одного болта (у нашому випадку – при зрізі) згідно з формулою (16.15) [2] визначаємо шукану несучу здатність з'єднання в цілому:

$$N = n_b N_{b,min} / \gamma_n = 4 \times 84,0 / 1 = 336,0 \text{ кН},$$

де $n_b = 4$ – кількість болтів з однієї сторони стика.

Несуча здатність з'єднання визначається міцністю болтів при зрізі та становить 336 кН.

Завдання 10. Розрахунок фрикційного з'єднання на високоміцних болтах

Визначити кількість високоміцних болтів у зображеному на рис. 4.7 фрикційному з'єднанні стрижня з фасонкою гратчастої конструкції та розробити схему вузла за умови однорядного розміщення болтів. Стрижень виконаний з двох кутиків, зіставлених ширшими полочками разом. Переріз кутиків $\perp 100 \times 63 \times 6$,

статичне навантаження на вузол (зусилля в стрижні) $N = 380$ кН. Болти із сталі 40Х «селект» слід обирати максимально можливого діаметра з переліку рекомендованих (16, 20, 24, 30, 36 мм) при різниці діаметрів отвору й болта до 3 мм. Спосіб обробки поверхонь – газополум’яневий, контроль натягу болтів – за моментом закручування.

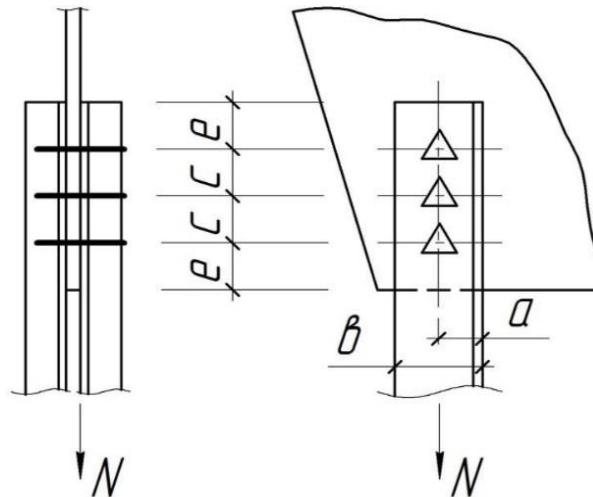


Рис. 4.7. Конструкція з'єднання на фрикційних болтах до завдання 10

Методика розрахунку

1. За таблицею рисок прокатних кутиків, наведеною в табл. К.1 додатка К, для полицки шириною $b = 100$ мм визначаємо максимально можливий діаметр отвору $d = 23$ мм та значення риски $a = 55$ мм.

2. Вибираємо максимально можливий діаметр високоміцного болта $d_b = 20$ мм (рекомендовані діаметри – 16, 20, 24, 30, 36 мм), за [табл. Д.7, 2] визначаємо розрахунковий опір болта із сталі 40Х «селект» $R_{bh} = 77$ кН/см².

3. Площі «нетто» (по перерізу з різьбою) болтів рекомендованих діаметрів, згідно зі стандартом на болти, дорівнюють:

$d_b =$ (мм)	16	20	24	30	36
$A_{bn} =$ (см ²)	1,57	2,45	3,53	5,61	8,16

4. З [табл. 16.5, 2] вибираємо коефіцієнт тертя $\mu_s = 0,42$ і коефіцієнт надійності фрикційного з'єднання $\gamma_h = 1,12$, які відповідають дії статичного навантаження та газополум'яневому способу обробки двох поверхонь при різниці діаметрів отвору й болта 1-4 мм.

5. За формулою 16.17 [2] обчислюємо несучу здатність однієї площини тертя, затягнутої одним високоміцним болтом:

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} A_{bn} \mu_s}{\gamma_h} = \frac{77 \cdot 2,45 \cdot 0,42}{1,12} = 70,7 \text{ кН.}$$

6. Необхідну кількість болтів у з'єднанні визначаємо за формулою 16.18 [2] з урахуванням наявності двох поверхонь тертя:

$$n = \frac{N \gamma_n}{Q_{bh} k \gamma_b \gamma_c} = \frac{380 \cdot 1}{70,7 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 1} = 3,4 \text{ болта.}$$

Коефіцієнт умов роботи фрикційного з'єднання $\gamma_b = 0,8$ попередньо прийнятий за пунктом 16.3.4 [2] для кількості болтів $n < 5$. Якщо обчислена кількість болтів не відповідає врахованій при визначенні коефіцієнта γ_b , її слід обчислити заново з уточненим значенням γ_b .

7. Остаточо приймаємо 4 болти діаметром 20 мм. Конструювання з'єднання полягає у розміщенні болтів на мінімальних відстанях відповідно до вимог [табл. 16.3, 2]. В запас надійності враховуємо, що характеристичний опір сталі з'єднаних елементів $R_{yn} > 390$ МПа. Тоді відстань між центрами отворів приймаємо рівною $3 \times d = 3 \times 23 = 69 \approx 70$ мм, а відстань від центру отвору до краю елемента $2,5 \times d = 2,5 \times 23 = 57,5 \approx 60$ мм. Загальна довжина напуску кутиків на фасонку складає $3 \times 70 + 2 \times 60 = 330$ мм.

Прикріплення стрижня з парних кутиків $\perp 100 \times 63 \times 6$ на зусилля 380 кН за умови газополум'яневої обробки контактних поверхонь слід здійснити чотирма високоміцними болтами діаметром 20 мм.

Контрольні питання:

1. Назвіть основні види елементів сталевих конструкцій, що працюють під навантаженням?
2. Що таке розрахункова схема елемента, і як її вибирають?
3. Як визначається розрахункове зусилля у елементі сталевих конструкцій?
4. Які граничні стани перевіряють для елементів сталевих конструкцій?

5. Як враховуються поздовжній згин і зсув у розрахунках елементів?
6. Як визначають допустимі прогини та переміщення для сталевих елементів?
7. Які сталі та профілі найчастіше застосовуються для виготовлення балок, колон, ферм?
8. Що таке зварне з'єднання, його основні типи та як визначають його розрахункову міцність?
9. Як розраховується болтове з'єднання на зсув та розтягання?
10. Що таке високоміцні болти та чим відрізняється їх розрахунок від звичайних?
11. Які вимоги до мінімальних відстаней між отворами і від кромки у зварних та болтових з'єднаннях?
12. Які нормативні документи регламентують розрахунок елементів і з'єднань сталевих конструкцій?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

ПРОЕКТУВАННЯ ПРОКАТНИХ БАЛОК

Мета заняття: вивчити методи розрахунків сталевих прокатних балок за ДБН В.2.6-198:2014 [2] та навчальною літературою.

Після вивчення теми здобувачі вищої освіти повинні вміти:

- виконувати підбір поперечного перерізу балки за умовою міцності при згині;
- застосовувати вимоги ДБН для перевірки стійкості елементів балки (стійкість поясків і стінки, загальна стійкість).
- перевіряти прогини балок за граничними станами деформацій;
- виконувати перевірку місцевої стійкості стінки балки та визначати необхідність встановлення підсилюючих елементів (ребер жорсткості).
- використовувати сортамент прокатних профілів для вибору оптимального поперечного перерізу.

Короткі теоретичні відомості

Балками називають елементи, довжина яких значно перевищує розміри перерізу, що працюють на поперечний згин та мають суцільний переріз. Це одні з найпоширеніших конструкцій, які використовують як несучі елементи в перекриттях і покрівлях будівель та споруд, робочих майданчиків, естакад, галерей, у мостах тощо. Балки застосовують як при малих (наприклад, прогони легких покрівель), так і значних навантаженнях (балки мостів, підкранові балки тощо) [12].

Найраціональнішими є балки довжиною до 20 м, хоча при інтенсивних навантаженнях ділянка раціональних прольотів збільшується. Так, з успіхом експлуатуються балкові мости з прольотами до кількох сотень метрів.

За статичною схемою балки поділяються на однопролітні розрізні, консольні та нерозрізні багатопролітні (рис. 5.1). За витратою металу ефективнішими є нерозрізні та консольні балки. Але трудомісткість їх виготовлення та монтажу вища, ніж однопролітних.

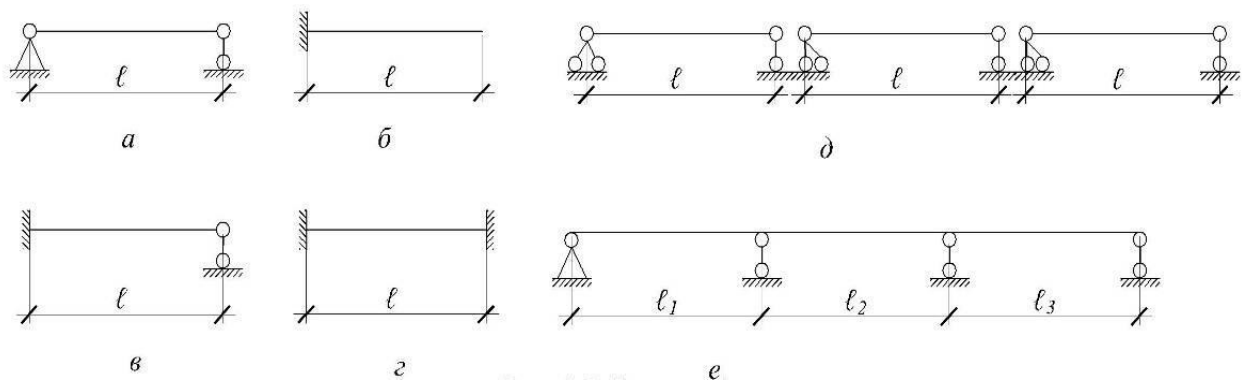


Рис. 5.1. Найпоширеніші статичні схеми балок: а, д – розрізних; б – консольних; в, г – із защемленням; е – нерозрізних

Найчастіше проектують металеві балки двотаврового перерізу. Такий переріз економічний щодо витрати металу і зручний у конструюванні.

Балки використовують як у вигляді окремих несучих конструкцій (наприклад, підкранові шляхи), так і у вигляді системи перехресних балок (так званих балкових кліток). Найбільш поширеними типами балкових кліток є спрощений, нормальний та ускладнений. Поверху балкових кліток влаштовують настил.

Найпоширенішим і найдешевшим є спрощений тип балкової клітки. Його застосування доцільне при малих прольотах, коли балки можуть бути виконані з прокатних, гнутих чи пресованих профілів. Крок балок зумовлений конструктивним рішенням настилу.

Найбільш типовим прикладом згинальних елементів є балка, на яку одночасно діють згинальні моменти M та перерізувальні сили Q . Згинальні моменти зумовлюють виникнення в поперечних перерізах нормальних напружень

$$\sigma = \frac{M}{I} y, \quad (5.1)$$

а перерізувальні сили – дотичних

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{I \cdot b}, \quad (5.2)$$

де y – відстань від центра ваги перерізу до шару волокон, у яких визначають нормальні напруження, см;

I – момент інерції перерізу відносно головної центральної осі, перпендикулярної до площини дії моменту, см⁴;

S – статичний момент частини площі перерізу, розміщеної між рівнем у і краєм перерізу, відносно цієї ж осі, см³;

b – ширина чи товщина перерізу на цьому рівні, см.

Залежно від призначення, умов експлуатації і техніко-економічного обґрунтування розрахунок згинальних елементів (балок) належить виконувати згідно з [8].

Розрахунок на міцність балок необхідно виконувати за формулами:

- при дії згинального моменту M в одній з головних площин:

$$\frac{M \cdot \gamma_n}{W_{n,\min} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1; \quad (5.3)$$

– при дії поперечної сили Q , що спрямована паралельно серединній площині стінки:

$$\frac{Q \cdot S_x \cdot \gamma_n}{I_x \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} \leq 1. \quad (5.4)$$

При розрахунку будівельних конструкцій за прогинами (вигинами) і переміщеннями повинна бути виконана умова

$$f \leq f_u, \quad (5.5)$$

де f – прогин (вигин) і переміщення елемента конструкції (чи конструкції в цілому), визначені з урахуванням факторів, що впливають на їхні значення, см;

f_u – граничний прогин (вигин) і переміщення, див. (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Вертикальні граничні прогини балок, ферм, ригелів, прогонів, плит, настилів

Елемент конструкцій	Вертикальний граничний прогин, f_u
$L \leq 1$	$L/120$
$L = 3$	$L/150$
$L = 6$	$L/200$
$L = 24$ (12)	$L/250$
$L \geq 36$ (24)	$L/300$

Примітка 1. Для консолі замість L потрібно приймати подвоєний її виліт.

Примітка 2. Для проміжних значень L граничні прогини належить визначати лінійною інтерполяцією.

Примітка 3. Цифри, зазначені в дужках, необхідно приймати при висоті приміщень до 6 м включно.

Завдання на проєктування. Підібрати переріз і розрахувати опорний вузол *головної (другорядної)* балки перекриття під *призначення приміщення*. Вихідні дані: проліт L та крок B балок; експлуатаційне p_e і граничне p_m розрахункові значення постійного навантаження від маси перекриття та конструкцій підлоги (на квадратний метр плану). Головна балка опирається на сталеву колону збоку; другорядна балка опирається на поперечні ребра жорсткості головної балки в одному рівні через фрикційні болти.

Методика розрахунку

1. Виходячи з призначення приміщення, за розд. 5.1 ДБН В.1.2-14-2018 [3], встановити клас відповідальності будівлі.
2. За [додаток А, 2] встановити категорії конструкції за призначенням (А, Б, В) і за напруженим станом (І, ІІ, ІІІ).
3. За табл. А.2 ДБН [2] визначити суму балів, що враховують призначення та умови експлуатації, і за вказівками пункту А.1 [2] встановити номер групи, до якої належить балка перекриття.
4. За [табл. Г.1, 2] з урахуванням групи конструкцій за пунктом 3 вибрати сталь, придатну для виготовлення балки. Визначити розрахункові опори обраної сталі R_y та R_s за методикою практичного заняття № 1 з використанням [4] та п.п. 7.1 і 7.2 [2].
5. За п. 7.6.4 і табл. 5 ДБН [3] визначити коефіцієнти надійності за відповідальністю для розрахунків балки за граничними станами першої γ_{n1} та другої групи γ_{n2} в усталеній розрахунковій ситуації.
6. За ДБН [табл. 5.1, 2] визначити коефіцієнт умов роботи балки γ_c .
7. За п. 5.1 ДСТУ Б В.1.2-3:2006 «Прогини і переміщення. Вимоги проєктування» [5] визначити граничний прогин балки $[f/L]$.
8. Виходячи з призначення приміщення, за [табл. 6.2, 1] визначити характеристичне та рівне йому експлуатаційне розрахункове значення корисного навантаження на перекриття g_e , а за п. 6.7 тих же норм – коефіцієнт надійності γ_{fm} .
9. Обчислити експлуатаційне та граничне розрахункові значення сумарного погонного навантаження на балку за формулами

$$q_e = B \cdot (p_e + g_e) \cdot \gamma_{n2}; \quad q_m = B \cdot (p_m + \gamma_{fm} g_e) \cdot \gamma_{n1}. \quad (5.6)$$

10. Визначити розрахункові значення максимального згинального моменту та поперечної сили за схемою шарнірно обпертої балки з рівномірно розподіленим навантаженням:

$$M_e = \frac{q_e L^2}{8}; \quad M_m = \frac{q_m L^2}{8}; \quad Q_m = \frac{q_m L}{2}. \quad (5.7)$$

11. З формули (9.1) [2] визначити необхідне значення моменту опору поперечного перерізу з умови міцності за нормальними напруженнями:

$$W_H = \frac{M_m \gamma_n}{R_y \gamma_c}, \quad (5.8)$$

Використання цієї формули означає, що в запас надійності переріз балки підбирається без урахування розвитку обмежених пластичних деформацій (у пружній стадії роботи сталі).

12. Визначити необхідне значення моменту інерції поперечного перерізу з умови жорсткості балки:

$$I_H = \frac{\gamma_n M_e L}{10E} \left[\frac{L}{f} \right], \quad (5.9)$$

де $\left[\frac{L}{f} \right]$ – величини, обернена граничному прогину з пункту 7.

13. За сортаментом прокатних двотаврів [9] вибрати профіль з найближчими більшими значеннями моменту опору та моменту інерції і визначити геометричні характеристики поперечного перерізу: товщину полицки t_f , товщину стінки t_w , момент інерції I_x , момент опору W_x , статичний момент половини перерізу S_x .

14. За [4] та п.п. 7.1 і 7.2 [2] уточнити розрахункові опори застосованої сталі при згині R_y та при зсуві $R_s = 0,58 \times R_y$ з урахуванням фактичної товщини полицки вибраного двотавра.

15. Виконати перевірку міцності перерізу балки за нормальними напруженнями за формулою (9.1) [2] і перевірку міцності стінки за дотичними напруженнями за формулою (9.2) [2]:

$$\frac{M_m}{W_{n, \min} R_y \gamma_c} \leq 1; \quad \frac{Q_m S_x}{I_x t_w R_s \gamma_c} \leq 1. \quad (5.10)$$

Коефіцієнт надійності за відповідальністю γ_n з формул п.п. 15 і 16 вилучений, оскільки він був врахований при визначенні розрахункового значення навантаження в п. 9.

16. Виконати перевірку жорсткості за наближеною формулою прогину:

$$\frac{f}{L} = \frac{M_e L}{10EI_x} \leq \left[\frac{f}{L} \right]. \quad (5.11)$$

17. У випадку невідповідності результатів виконаних перевірок, або наявності надмірних запасів слід відкоригувати переріз балки і повторити розрахунки за п.п. 13-16. Переріз повинен бути підбраний таким чином, щоб у межах наявного сортаменту його не можна було зменшити.

18. Головна балка перекриття зазвичай обпирається на сталеву колону через опорне ребро жорсткості, приварене до торця балки. Для проектування опорного вузла такого типу необхідно:

- за п.п. 7.1 і 7.2 [2] визначити розрахунковий опір R_p зминанню торців листового прокату з прийнятої сталі;
- з урахуванням вказівок п. 9.5.13 [2] визначити товщину опорного ребра, необхідну для передачі поперечної сили Q_m :

$$t_r = \frac{Q_m \gamma_n}{b_r R_p \gamma_c} \geq 1,5 b_r \sqrt{\frac{R_y}{E}}, \quad (5.12)$$

де b_r – ширина ребра, яка звичайно приймається рівною ширині полицки запроєктованої головної балки;

- за вимогами пункту 16.1.16 [2] та вказівками до практичного заняття №4 визначити катет зварних швів, якими опорне ребро прикріплюється до стінки балки (довжина двосторонніх швів приймається рівною висоті стінки).

19. Другорядна балка перекриття зазвичай обпирається на головні балки, прикріплюючись до поперечних ребер жорсткості за допомогою болтів класу точності В або високоміцних болтів, які утворюють фрикційне з'єднання. Розрахунок опорного вузла зводиться до вибору діаметра та обчислення кількості болтів, необхідної для передачі поперечної сили Q_m з п. 10, а також до перевірки можливості розміщення отриманої кількості болтів в один ряд уздовж висоти стінки другорядної балки згідно з вимогами [табл. 16.3, 2]. Методика розрахунку з'єднань на болтах розглянута в [2].

Вихідні дані до прикладів вирішення завдань

У всіх наведених нижче прикладах розрахункові схеми балок, довжини елементів, значення зовнішніх зусиль та місця їх прикладення прийняті випадковим чином.

У всіх прикладах прийнято вуглецеву сталь класу міцності прокату сталі С235 з розрахунковим опором при розтягу, стиску і згині фасонного прокату $R^y=230$ Н/мм² ≈ 23 кН/см²; коефіцієнт умов роботи для балок суцільного перерізу прийнято рівним $\gamma_c = 0,9$ [2]; коефіцієнт надійності за відповідальністю прийнято рівним $\gamma_n=1$.

Завдання 1. Необхідно підібрати переріз двотаврової металевої балки (рис. 5.2).

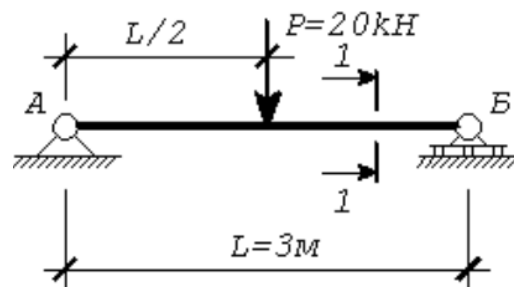


Рис. 5.2. Розрахункова схема балки

Методика розрахунку

Побудуємо для даної розрахункової схеми балки епюри згинального моменту M та поперечної сили Q (рис. 5.3).

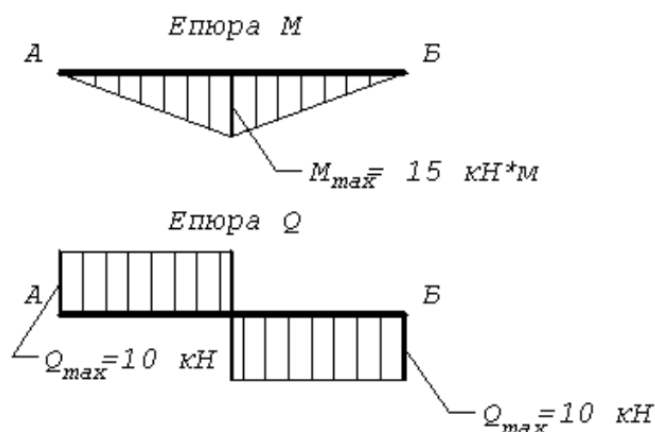


Рис. 5.3. Епюри згинального моменту M та поперечної сили Q

Максимальний згинальний момент M_{\max} , який діє за довжиною згинального елемента, визначаємо за формулою:

$$M_{\max} = \frac{P \cdot L}{4} = \frac{20 \cdot 3}{4} = 15 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Максимальне значення поперечної сили Q_{\max} , яка діє за довжиною згинального елемента, визначаємо за формулою:

$$Q_{\max} = \frac{P}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ кН}.$$

З формули міцності балок [2] при дії згинального моменту в одній з головних площин:

$$\frac{M \cdot \gamma_n}{W_{n,\min} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

визначимо потрібний момент опору перерізу відносно головної осі інерції x-x:

$$W_{n,\min} = \frac{M \cdot \gamma_n}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1500 \cdot 1}{23 \cdot 0,9} = 72,46 \text{ см}^3.$$

Із сортаменту прокатної сталі приймаємо двотаврову балку (рис. 5.4) за [4] або табл. В.1 додатку В з такими геометричними характеристиками:

номер профілю – 14;

лінійна густина – 13,7 кг/м;

висота балки $h = 140$ мм; ширина полочки $b = 73$ мм;

товщина стінки $d = 4,9$ мм;

площа перерізу балки $A = 17,4$ см².

статичний момент інерції перерізу $I_x = 572$ см⁴;

статичний момент опору перерізу балки $W_x = 81,7$ см³;

статичний момент півплощі перерізу балки $S_x = 46,8$ см³;

радіус інерції $i_x = 5,73$ см.

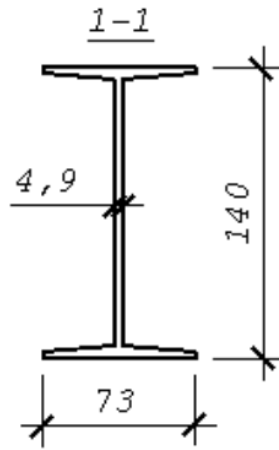


Рис. 5.4. Підібраний перетин балки

Виконаємо перевірку прийнятого перетину балки на дію згинального моменту

М:

$$\frac{M \cdot \gamma_n}{W_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1500 \cdot 1}{81,7 \cdot 23 \cdot 0,9} = 0,88 \leq 1.$$

Умова виконується.

Виконаємо перевірку прийнятого перерізу балки на дію поперечної сили Q, що спрямована паралельно серединній площині стінки:

$$\frac{Q \cdot S_x \cdot \gamma_n}{I_x \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{10 \cdot 46,8 \cdot 1}{572 \cdot 0,49 \cdot 0,58 \cdot 23 \cdot 0,9} = 0,13 \leq 1.$$

Умова виконується.

Виконаємо перевірку прийнятого перерізу балки за допустимими прогинами.

Для того щоб застосувати формулу Мора, нам необхідно мати епюру згинальних моментів $M_{од}$ від одиничної сили.

Одиничну силу прикладаємо до точки, де визначаємо прогин (рис. 5.5).

Будуємо одиничну епюру згинального моменту (рис. 5.6).

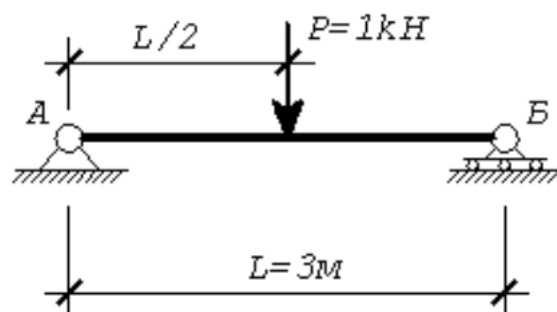


Рис. 5.5. Прикладена одинична сила

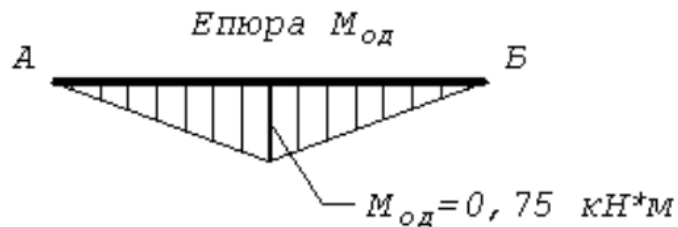


Рис. 5.6. Однична епюра М

Максимальний згинальний момент $M_{од}$ від одиничної сили визначаємо за формулою:

$$M_{од} = \frac{P_{од} \cdot L}{4} = \frac{1 \cdot 3}{4} = 0,75 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Маючи значення M_{max} та $M_{од}$, застосуємо формули Мора [12] для визначення фактичного прогину балки (рис. 5.7) у місці прикладення одиничної сили:

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{3} \cdot \frac{M_{max} \cdot M_{од}}{E \cdot I_x} \cdot \frac{L}{2} + \frac{1}{3} \cdot \frac{M_{max} \cdot M_{од}}{E \cdot I_x} \cdot \frac{L}{2} = \\ &= 2 \left[\frac{1}{3} \cdot \frac{M_{max} \cdot M_{од}}{E \cdot I_x} \cdot \frac{L}{2} \right] = 2 \left[\frac{1}{3} \cdot \frac{1500 \cdot 75}{2,06 \cdot 10^4 \cdot 572} \cdot \frac{300}{2} \right] = \\ &= 0,95 \text{ см} \leq f_u = \frac{L}{150} = \frac{300}{150} = 2 \text{ см.} \end{aligned}$$

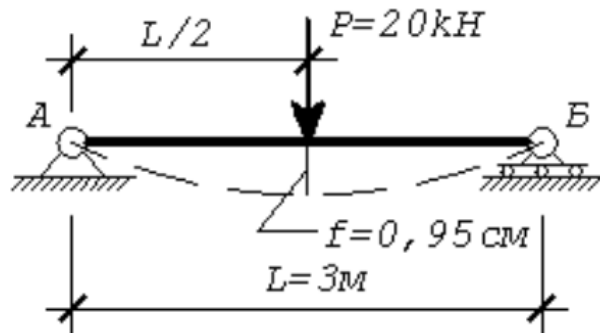


Рис. 5.7. Фактичний прогин балки

Умова виконується. Балка підібрана.

Завдання для самостійної роботи

Необхідно підібрати переріз двотаврової металевої балки.

Варіант завдання	Схема	<i>L</i>, м	<i>a</i>, м	<i>P</i>, кН	<i>P</i>₁, кН	<i>P</i>₂, кН	<i>q</i>, кН/м	<i>R_y</i>, Н/мм²
1	1	0,8	0,2	5	5	10	5	220
2	6	1,4	0,5	27	14	12	7,5	230
3	2	2,4	0,7	10	5	14	10,0	240
4	7	3,2	1,0	25	25	16	12,5	250
5	3	3,0	1,2	15	10	20	15,0	270
6	8	1,2	0,2	23	20	8	17,5	220
7	4	1,4	0,4	20	22	6	20,0	230
8	9	2,4	0,6	8	16	4	22,5	240
9	5	2,8	0,8	25	18	10	25,0	250
10	10	1,0	0,2	6	4	12	8,5	270
11	9	2,2	0,4	30	20	10	16,5	220
12	2	1,6	0,6	4	10	16	16,0	230
13	7	3,0	0,5	16	8	14	22,0	240
14	4	0,5	0,1	6	12	5	21,5	250
15	5	0,75	0,25	14	17	25	12,5	270
16	6	0,9	0,2	8	20	10	16,8	220
17	3	1,1	0,1	8	21	20	25,2	230
18	8	2,9	0,6	12	10	22	12,6	240
19	1	1,3	0,3	4	5	16	4,6	250
20	1	2,8	0,5	14	14	18	4,2	270
21	10	1,5	0,25	5	5	4	16,5	220
22	4	2,7	0,5	25	25	20	12,5	230
23	8	1,7	0,2	10	10	10	6,4	240
24	7	2,5	0,5	20	20	8	12,4	250
25	6	1,9	0,9	22	22	12	16,8	270
26	9	2,6	0,6	16	16	14	5,8	220
27	5	1,2	0,2	18	18	7	12,7	230
28	2	2,5	0,5	4	4	9	12,5	240
29	3	1,4	0,4	20	20	12	10,6	250
30	10	2,4	0,4	10	10	6	8,8	270

Схема 1

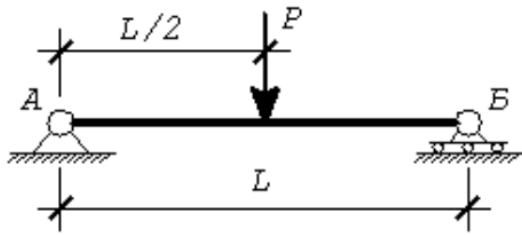


Схема 2

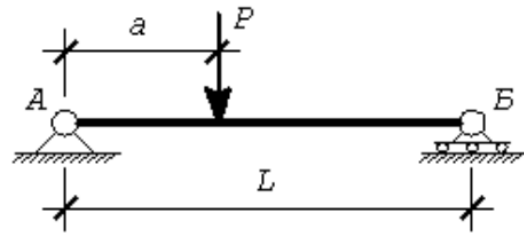


Схема 3

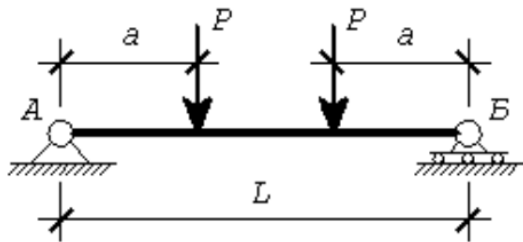


Схема 4

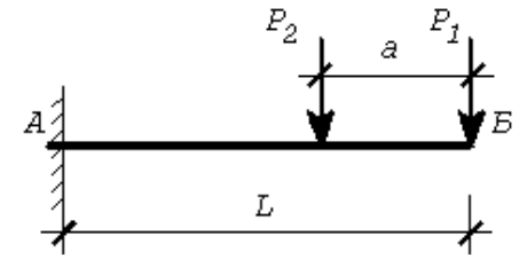


Схема 5

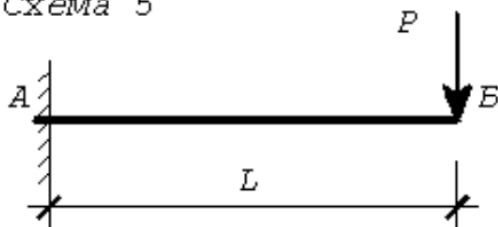


Схема 6

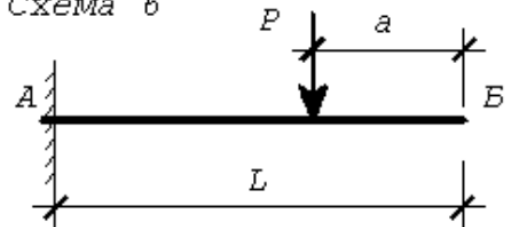


Схема 7

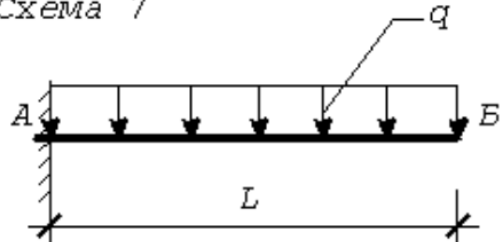


Схема 8

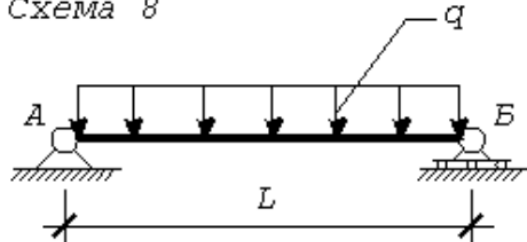


Схема 9

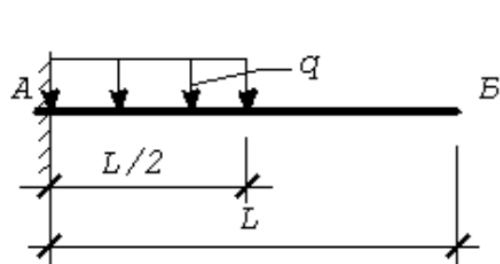
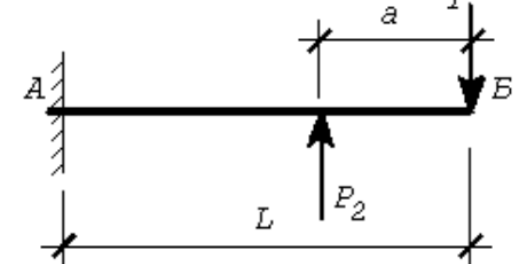


Схема 10



Контрольні питання:

1. Які види прокатних балок застосовуються у будівельних конструкціях?
2. Які основні сортаменти прокатних балок передбачені державними стандартами?

3. Які вихідні дані необхідно мати для проєктування прокатної балки (схема, навантаження, прольоти)?
4. Як визначають розрахункове навантаження та згинальний момент у балці?
5. Які формули застосовуються для визначення максимальних згинальних моментів та поперечних сил?
6. Як вибирається поперечний переріз прокатної балки за моментом опору?
7. Як визначається допустима напруга для матеріалу балки?
8. Яким чином перевіряється прогин прокатної балки та які встановлено граничні значення?
9. Що таке стійкість балки у площині згину та поза площиною?
10. Які особливості розрахунку балок із отворами у стінці?
11. Як впливає тип опирання (шарнірне, жорстке) на розрахунок балки?
12. Які додаткові елементи можуть встановлюватися у балках та як вони розраховуються?
13. Як обґрунтувати вибір конкретного типу та розміру прокатної балки з огляду на економічність і технологічність?
14. Які нормативні документи регламентують проєктування прокатних балок?

Рекомендована література

1. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі зміною №1 і №2. К.: Мінбуд України, 2020. – 68 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199621970136139233?doc_type=2
2. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі зміною № 1. – К., 2022. – 220 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3200869840512354218?doc_type=2
3. ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд із Зміною №1. – К., 2022. – 35 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3199634775304307868?doc_type=2
4. ДСТУ 8539:2015. Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 23 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTU2/dstu_8539-2015.pdf
5. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. К.: Мінбуд України, 2006 – 15 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY4/dsty_b_v.1.2-3-2006.pdf
6. ДСТУ Б В.2.6-210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. – К.: Мінрегіон України, 2016 – 53 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/13-dstu-b-v-2-6-210-2016-oc-nka-tekh-nchnogo-stanu-stalevih-bud-velnih-konstruc-j-shcho-ekspluatuyutsya.pdf>
7. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В. та ін. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів. – Видання 2-е, перероблене і доповнене. – К.: Видавництво "Сталь", 2010. – 869 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://moodle.kntu.kr.ua/course/view.php?id=474>

8. Клименко Ф. Є., Барабаш В. М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції: / За ред. Ф.Є Клименка : Підручник. – 2-ге видання, випр. і доп. – Львів: Світ, 2002. – 312 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://moodle.kntu.kr.ua/course/view.php?id=474>

9. ДСТУ 2251:2018. Кутики сталеві гарячекатані рівнополичні. Сортамент. – К.: УкрДНТЦ «Енергосталь», 2019 – 12 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/37-dstu-2251-2018-kutiki-stalev-garyachekatan-r-vnopolichn.pdf>

10. Металеві конструкції. Методичні рекомендації та інформаційні матеріали для курсового проектування та виконання кваліфікаційних робіт здобувачами вищої освіти усіх форм навчання спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. / [Уклад.: В.А. Пашинський]. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. - 38 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://moodle.kntu.kr.ua/course/view.php?id=474>

11. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Будівельні конструкції, будівлі і споруди». Частина І: Будівельні конструкції і будівлі. / (для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної і заочної форми навчання) / Укл.: В.Б. Ігнатєва. – Тернопіль: вид-во ТНТУ ім. І. Пулюя, 2021 – 64 с.

12. Шмиг Р.А. Розрахунок металевих балок : навч. посіб. /Р.А. Шмиг, І.М. Добрянський, О.І. Грицина; за заг. ред. Р.А. Шмига. – Львів : Ліга Прес, 2016. – 62 с.

13. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2024. – 78 с.

ДОДАТОК А

ХАРАКТЕРИСТИЧНІ І РОЗРАХУНКОВІ ОПОРИ ПРОКАТУ

Таблиця А.1 – Характеристичні і розрахункові опори при розтягу, стиску і згині для листового, ширококутвого універсального і фасонного прокату відповідно до класів міцності прокату сталі (ДБН В.2.6-198:2014, табл. Г.2)

Клас міцності прокату сталі	Товщина прокату ¹⁾ , мм	Характеристичний опір ²⁾ , МПа, Н/мм ² прокату				Розрахунковий опір ³⁾ , МПа, Н/мм ² прокату			
		листового, ширококутвого універсального		фасонного		листового, ширококутвого універсального		фасонного	
		R_{yn}	R_{un}	R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u	R_y	R_u
С235	від 2 до 20	235	360	235	360	230	350	230	350
	понад 20 до 40	225	360	225	360	220	350	220	350
	понад 40 до 100	215	360	-	-	210	350	-	-
	понад 100	195	360	-	-	190	350	-	-
С245	від 2 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	понад 20 до 30	-	-	235	370	-	-	230	360
С255	від 2 до 3,9	255	380	-	-	250	370	-	-
	від 4 до 10	245	370	255	380	240	360	250	370
	понад 10 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	понад 20 до 40	235	370	235	370	230	360	230	360
С275	від 2 до 10	275	380	275	390	270	370	270	380
	понад 10 до 20	265	370	275	380	260	360	270	370
С285	від 2 до 3,9	285	390	-	-	280	380	-	-
	від 4 до 10	275	390	285	400	270	380	280	390
	понад 10 до 20	265	380	275	390	260	370	270	380
С295	до 100	295	430	295	430	285	420	285	420
С325	понад 10 до 20	325	470	325	470	315	460	315	460
	понад 20 до 40	305	460	305	460	300	450	300	450
	понад 40 до 60	285	450	-	-	280	440	-	-
	понад 60 до 80	275	440	-	-	270	430	-	-
	понад 80 до 100	265	430	-	-	260	420	-	-

Продовження табл. А.1

Клас міц- ності прока- ту сталі	Товщина прокату ¹⁾ , мм	Характеристичний опір ²⁾ , МПа, Н/мм ² прокату				Розрахунковий опір ³⁾ , МПа, Н/мм ² прокату			
		листового, ширококу- ткового універ- сального		фасонного		листового, ширококу- ткового універ- сального		фасонного	
		R_{yn}	R_{un}	R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u	R_y	R_u
С345	від 2 до 10	235	360	235	360	230	350	230	350
	понад 10 до 20	225	360	225	360	220	350	220	350
	понад 20 до 40	215	360	-	-	210	350	-	-
С345К	від 4 до 10	245	370	245	370	240	360	240	360
С355	від 8 до 50	255	380	-	-	250	370	-	-
С375	від 2 до 10	375	510	375	510	365	500	365	500
	понад 10 до 20	355	490	355	490	345	480	345	480
	понад 20 до 40	335	480	335	480	325	470	325	470
С390	від 4 до 50	390	540	-	-	380	530	-	-
С390К	від 4 до 30	390	540	-	-	380	530	-	-
С420	від 4 до 16	420	540	-	-	410	530	-	-
	від 16 до 40	400	530	-	-	390	515	-	-
	від 40 до 63	390	530	-	-	380	515	-	-
	від 63 до 80	370	520	-	-	360	505	-	-
С440	від 4 до 30	440	590	-	-	430	575	-	-
	від 30 до 50	410	570	-	-	400	555	-	-
С460	від 4 до 16	460	570	-	-	445	565	-	-
	від 16 до 40	440	560	-	-	430	545	-	-
	від 40 до 63	430	560	-	-	420	545	-	-
	від 63 до 80	410	540	-	-	400	530	-	-
С490	від 8 до 50	490	590	-	-	475	575	-	-
С500	від 3 до 50	500	590- 770	-	-	485	575- 750	-	-
	від 50 до 100	480		-	-	465		-	-
С590	від 10 до 36	590	685	-	-	540	617	-	-
С590К	від 10 до 40	590	685	-	-	540	617	-	-

Клас міцності прокату сталі	Товщина прокату ¹⁾ , мм	Характеристичний опір ²⁾ , МПа, Н/мм ² прокату				Розрахунковий опір ³⁾ , МПа, Н/мм ² прокату			
		листового, широкосмугового універсального		фасонного		листового, широкосмугового універсального		фасонного	
		R_{yn}	R_{un}	R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u	R_y	R_u
С620	від 3 до 50	620	700-890	-	-	600	680-865	-	-
	понад 50 до 100	580		-	-	565		-	-

1) За товщину фасонного прокату приймається товщина полиці.

2) За характеристичні опори прийняті гарантовані значення границі текучості і тимчасового опору.

3) Значення розрахункових опорів одержані діленням характеристичних опорів на коефіцієнти надійності за матеріалом γ_m із заокругленням до 5 Н/мм². Для класів міцності прокату сталі С235-С500; С620 враховано $\gamma_m = 1,025$, а для класів С 590; С590К враховано $\gamma_m = 1,1$.

Примітка 1. Розрахункові опори прокату конкретних марок сталей, які наведені у табл. Г.5 (ДБН В.2.6-198:2014) слід приймати з урахуванням коефіцієнта надійності за матеріалом γ_m , який визначається згідно з таблицею 7.2 (ДБН В.2.6-198:2014).

Примітка 2. Розрахункові опори R_w стінок гарячекатаних двотаврів і швелерів допускається збільшувати на 10 % порівняно до R_y .

ДОДАТОК Б

КОЕФІЦІЄНТ УМОВ РОБОТИ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

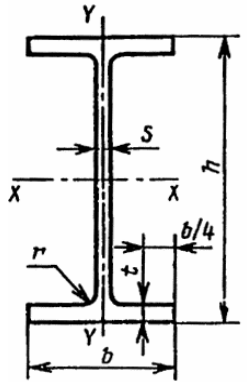
Таблиця Б.1 – Коефіцієнт умов роботи (ДБН В.2.6-198:2014, табл. 5.1)

Елементи конструкцій	Коефіцієнт умов роботи, γ_c
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 перекриттів	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 зі 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
7. Стиснуті елементи решітки просторових решітчастих конструкцій, виконані з одиночних рівнополичкових кутиків згідно з рисунком 13.3 (ДБН В.2.6-198:2014), які прикріплюються однією полицею (для нерівнополичкових кутиків – більшою полицею): а) безпосередньо до поясів за допомогою зварних швів або двох болтів і більше, які встановлені вздовж кутика:	
- розкоси (рисунок 13.3, а (ДБН В.2.6-198:2014));	0,90
- розпірки (рисунок 13.3, б, в, е (ДБН В.2.6-198:2014));	0,90
- розкоси (рисунок 13.3, в, г, д, е (ДБН В.2.6-198:2014));	0,80
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 однією полицею (для нерівнополичкових кутиків – меншою полицею), за винятком елементів, наведених у позиції 7 цієї таблиці	0,75

Елементи конструкцій	Коефіцієнт умов роботи, γ_c
9. Опорні плити, виконані зі сталі з границею текучості до 390 Н/мм ² , що несуть статичне навантаження, товщиною, мм:	0,95
а) до 40 включно;	1, 20
б) понад 40 до 60 включно;	1,15
в) понад 60 до 80 включно	1,10
<p>Примітка 1. Коефіцієнти $\gamma_c \leq 1$ при розрахунку не слід враховувати сумісно, за винятком розрахунків, вказаних у примітках 2,3.</p> <p>Примітка 2. При розрахунку на міцність у перерізі, послабленому отворами для болтів, коефіцієнти, наведені в позиції 6 і 1, 6 і 2, 6 і 5, слід враховувати сумісно.</p> <p>Примітка 3. При розрахунку опорних плит коефіцієнти, наведені в позиції 9 і 2, 9 і 3, слід враховувати сумісно.</p> <p>Примітка 4. При розрахунку з'єднань коефіцієнти γ_c для елементів, які наведені в позиції 1 і 2, слід враховувати разом із коефіцієнтом умов роботи з'єднання γ_b.</p> <p>Примітка 5. У випадках, не обумовлених цими Нормами, у розрахункових формулах приймають $\gamma_c = 1$.</p>	

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Сортамент двутавров сталевих гарячекатаних з паралельними гранями полиць

					Позначення до креслення і табл. Г.1 h - висота двотавра; b - ширина полиці; s - товщина стінки; t-товщина полиці; r - радіус сполучення; I - момент інерції; W - момент опору; S - статичний момент напівперерізу; i - радіус інерції								
					Площа перерізу, см ²	Лінійна щільність, кг/м	Довідкові величини для осей						
X-X				Y-Y									
Номер профілю	Розміри, мм				6	7	8	9	10	11	12	13	14
	h	b	s	t									
	Широкополичні двотаври												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
20Ш1	193	150	6,0	9,0	38,95	30,6	2660	275	153	8,26	507	67,6	3,61
23Ш1	226	155	6,5	10,0	46,08	36,2	4260	377	210	9,62	622	80,2	3,67
26Ш1	251	180	7,0	10,0	54,37	42,7	6225	496	276	10,70	974	108,2	4,23
26Ш2	255	180	7,5	12,0	62,73	49,2	7429	583	325	10,88	1168	129,8	4,31
30Ш1	291	200	8,0	11,0	68,31	56,3	10400	715	398	12,34	1470	147	4,64
30Ш2	295	200	8,5	13,0	77,65	61,0	12200	827	462	12,53	1737	173,7	4,73

Продовження табл. В.1

Номер профілю	h	b	s	t	A, см ²	ρ кг/м	I_x, см ⁴	W_x, см ³	S_x, см ³	i_x, см	I_y, см ⁴	W_y, см ³	i_y, см
Широкополочні двотаври													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
30Ш3	299	200	9,0	15,0	87,00	68,3	14040	939	526	12,70	2004	200,4	4,80
35Ш1	338	250	9,5	12,5	95,67	75,1	19790	1171	651	14,38	3260	261	5,84
35Ш2	341	250	10,0	14,0	104,74	82,2	22070	1295	721	14,52	3650	292	5,90
35Ш3	345	250	10,5	16,0	116,3	91,3	25140	1458	813	14,70	4170	334	5,99
40Ш1	388	300	9,5	14,0	122,4	96,1	34360	1771	976	16,76	6306	420	7,18
40Ш2	392	300	11,5	16,0	141,6	111,1	39700	2025	1125	16,75	7209	481	7,14
40Ш3	396	300	12,5	18,0	157,2	123,4	44740	2260	1259	16,87	8111	541	7,18
50Ш1	484	300	11,0	15,0	145,7	114,4	60930	2518	1403	20,45	6762	451	6,81
50Ш2	489	300	14,5	17,5	176,6	138,7	72530	2967	1676	20,26	7900	526	6,69
50Ш3	485	300	15,5	20,5	199,2	156,4	84200	3402	1923	20,56	9250	617	6,81
50Ш4	501	300	16,5	23,5	221,7	174,1	96150	3838	2173	20,82	10600	707	6,92
60Ш1	580	320	12,0	17,0	181,1	142,1	10730	3701	2068	24,35	9302	581	7,17
60Ш2	587	320	16,0	20,5	225,3	176,9	13180	4490	2544	24,19	11230	702	7,06
60Ш3	595	320	18,0	24,5	261,8	205,5	15690	5273	2997	24,48	13420	839	7,16
70Ш1	683	320	13,5	19,0	216,4	169,9	17200	5036	2843	28,19	10400	650	6,93
70Ш2	691	320	15,0	23,0	251,7	197,6	20550	5949	3360	28,58	12590	787	7,07
70Ш3	700	320	18,0	27,5	299,8	235,4	24710	7059	4017	28,72	15070	942	7,09
70Ш4	708	320	20,5	31,5	341,6	261,1	28440	8033	4598	28,85	17270	1079	7,11
70Ш5	718	320	23,0	36,5	389,7	305,9	33060	9210	5298	29,13	20020	1251	7,17

Продовження табл. В.1

Номер профілю	h	b	s	t	A, см ²	ρ кг/м	I _x , см ⁴	W _{x,c} м ³	S _x , см ³	i _x , см	I _y , см ⁴	W _{y,c} м ³	i _y , см
Колонні двотаври													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
20K1	195	200	6,5	10,0	52,82	41,5	3820	392	216	8,50	1334	133	5,03
20K2	198	200	7,0	11,5	59,70	46,9	4422	447	247	8,61	1534	153	5,07
23K1	227	240	7,0	10,5	66,51	52,2	6589	580	318	9,95	2421	202	6,03
23K2	230	240	8,0	12,0	75,77	59,5	7601	661	365	10,02	2766	231	6,04
26K1	255	260	8,0	12,0	83,08	65,2	10300	809	445	11,14	3517	271	6,51
26K2	258	260	9,0	13,5	93,19	73,2	11700	907	501	11,21	3957	304	6,52
26K3	262	260	10,0	15,5	105,90	83,1	13560	1035	576	11,32	4544	349	6,55
30K1	296	300	9,0	13,5	108,00	84,8	18110	1223	672	12,95	6079	405	7,50
30K2	300	300	10,0	15,5	122,70	96,3	20930	1395	771	13,06	6980	565	7,54
30K3	304	300	11,5	17,5	138,72	108,9	23910	1573	874	13,12	7881	525	7,54
35K1	343	350	10,0	15,0	139,70	109,7	31600	1843	1010	15,04	10720	613	8,76
35K2	348	350	11,0	17,5	160,40	125,9	37090	2132	1173	15,21	12510	715	8,83
35K3	353	350	13,0	20,0	184,10	144,5	42970	2435	1351	15,28	14330	817	8,81
40K1	393	400	11,0	16,0	175,80	138,0	52400	2664	1457	17,26	17610	880	10,00
40K2	400	400	13,0	20,0	210,96	165,6	64140	3207	1767	17,44	21350	1067	10,06
40K3	409	400	16,0	24,5	257,80	202,3	80040	3914	2180	17,62	26150	1307	10,07
40K4	419	400	19,0	29,5	308,60	242,2	98340	4694	2642	17,85	31500	1575	10,10
40K5	431	400	23,0	35,5	371,00	291,2	12157	5642	3217	18,10	37910	1896	10,11

ДОДАТОК Г

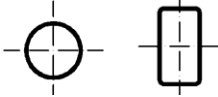
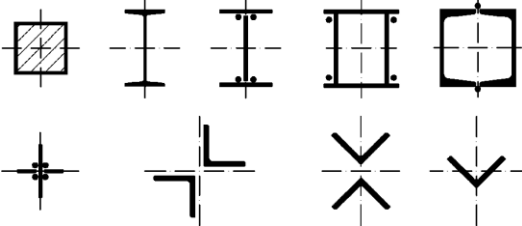
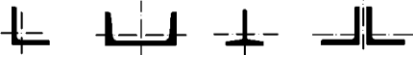
КОЕФІЦІЄНТИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НА СТІЙКІСТЬ ЦЕНТРАЛЬНО-І ПОЗАЦЕНТРОВО-СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Таблиця Г.1 - Коефіцієнти стійкості при центральному стиску (ДБН В.2.6-198:2014, табл. Ж.1)

Умовна гнучкість λ	Коефіцієнт φ для типів кривих стійкості			Умовна гнучкість λ	Коефіцієнт φ для типів кривих стійкості		
	a	b	c		a	b	c
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	927	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	844	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	602	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 1000 разів.

Таблиця Г.2 - Типи кривої стійкості (ДБН В.2.6-198:2014, табл. 8.1)

Тип поперечного перерізу	Тип кривої стійкості
	a
	b
	c

ДОДАТОК Д

ЩІЛЬНІСТЬ ДЕЯКИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Таблиця Д.1 – Значення щільності деяких будівельних матеріалів

	Найменування будівельних матеріалів	Щільність ρ , кг/м ³
1	Бетон важкий	2200...2400
2	Залізобетон	2500
3	Кам'яна кладка	1700
4	Асфальтобетон литий (в стяжках)	1800
5	Керамзитобетон	900...1600
6	Деревина (сосна, ялина)	500
7	Дуб, береза	700
8	Сталь	7800
9	Фанера	700
10	Цементно-піщаний розчин	2000
11	Керамічна плитка	2700
12	Ламінат $t = 7 \dots 8$ мм	700
13	Паркет $t = 2 \dots 25$ мм	500
14	Лінолеум $t = 3$ мм	1100...1600
15	Плити ДВП $t = 3,2$ мм	700
16	Листи ГКЛ $t = 16$ мм, ГВЛ $t = 13$ мм	1100
17	Утеплювач URSA, PAROC	60...75
18	Мінерально-ватні плити напівтверді	125
19	Мінерально-ватні плити жорсткі	250
20	Ековата	300
21	Плити ДВП ізоляційні, $t = 24$ мм	250
22	Пінопласт	15...25
23	Пінополістирол ПСБ-С (ГОСТ 15588-86)	35
24	Керамзит	300...500
25	Перліт	250
26	Вермикуліт	250...400
27	Rockwool	110...160
28	Roofmate	30
29	URSAFOAM	60...75
30	Isover	50...80
31	Катепал Turpla	1200
32	Бікрост, Лінокром	1200
33	Техноеласт, Екофлекс	1150
34	Руберойд $t = 3$ мм	600
35	Бітум	1050

ДОДАТОК Е

НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ

Таблиця Е.1 - Коефіцієнт надійності за граничним навантаженням γ_{fm} для ваги будівельних конструкцій (табл. 5.1 ДБН В.1.2-2-2006)

Конструкції споруд	γ_{fm}
металеві, у яких зусилля від власної ваги:	
менше 50%	1,05 (0,95)
дорівнюють або перевищують 50%	1,10 (0,90)
бетонні (з середньою щільністю понад 1600 кг/м ³), залізобетонні, кам'яні, армокам'яні, дерев'яні	1,10 (0,90)
бетонні (з середньою щільністю 1600 кг / м ³ і менше), ізоляційні, вирівнювальні та опоряджувальні шари (плити, матеріали в рулонах, з асипки, стяжки та ін.), що виконуються:	
в заводських умовах	1,20 (0,90)
на будівельному майданчику	1,30 (0,90)

Таблиця Е.2 Навантаження на перекриття будівель (табл. 6.2 ДБН В.1.2-2-2006)

Приміщення будівель і споруд	Характеристичні значення навантажень (нормативні з повним значенням) p_n , кПа
1. Квартири житлових будинків; спальні приміщення дитячих дошкільних установ і шкіл-інтернатів; житлові приміщення будинків відпочинку і пансіонатів, гуртожитків і готелів; палати лікарень і санаторіїв, тераси	1,5
2. Службові приміщення адміністративного, інженерно-технічного, наукового персоналу організацій і установ; класні приміщення установ освіти; побутові приміщення (гардеробні, душові, умивальні, вбиральні) промислових підприємств і громадських будівель і споруд	2,0
3. Кабінети і лабораторії установ охорони здоров'я, лабораторії установ освіти, науки; приміщення електронно-обчислювальних машин; кухні громадських будівель; технічні поверхи; підвальні приміщення	Не менше 2,0

Приміщення будівель і споруд	Характеристичні значення навантажень (нормативні з повним значенням), <i>p_n</i> , кПа
4. Зали:	
а) читальні	2,0
б) обідні (в кафе, ресторанах, столових)	3,0
в) зборів і нарад, очікування, глядачів та концертні, спортивні	4,0
г) торгові, виставкові та експозиційні	Не менше 4,0
5. Книгосховища; архіви	Не менше 5,0
6. Сцени видовищних установ	Не менше 5,0
7. Трибуни:	
а) з закріпленими сидіннями	4,0
б) для глядачів, що стоять	5,0
8. Горищні приміщення	0,7
9. Покриття на ділянках:	
а) з можливим скупченням людей (що виходять з виробничих приміщень, залів, аудиторій та ін.)	4,0
б) використовуваних для відпочинку	1,5
в) інших	0,5
10. Балкони (лоджії) з урахуванням навантаження	
а) смугового рівномірного на ділянці шириною 0,8 м уздовж огорожі балкона (лоджії)	4,0
б) суцільного рівномірного на площі балкона (лоджії), вплив якого не сприятливіше, ніж той, що визначається за поз. 10а	2,0
11. Ділянки обслуговування і ремонту устаткування у виробничих приміщеннях	Не менше 1,5
12. Вестибюлі, фойє, коридори, сходи (з проходами), що примикають до приміщень, зазначеним у позиціях:	
а) 1, 2 и 3	3,0
б) 4, 5, 6 и 11	4,0
в) 7	5,0
13. Перони вокзалів	4,0
14. Приміщення для худоби:	
дрібного	2,0
крупного	5,0

ДОДАТОК Ж

МАСА ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ

№	Марка плити	Маса, кг	№	Марка плити	Маса, кг
1	ПК 63.10	1825	13	ПК 63.15	2950
2	ПК 60.10	1725	14	ПК 60.15	2800
3	ПК 57.10	1650	15	ПК 57.15	2675
4	ПК 54.10	1575	16	ПК 54.15	2525
5	ПК 51.10	1475	17	ПК 51.15	2400
6	ПК 48.10	1400	18	ПК 48.15	2250
7	ПК 63.12	2200	19	ПК 63.18	3350
8	ПК 60.12	2100	20	ПК 60.18	3175
9	ПК 57.12	2000	21	ПК 57.18	3025
10	ПК 54.12	1900	22	ПК 54.18	2875
11	ПК 51.12	1800	23	ПК 51.18	2700
12	ПК 48.12	1700	24	ПК 48.18	2550

Додаток И

Витяг з ДСТУ 8539:2015. Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови [4]

Таблиця 4 — Механічні властивості листового і широкоштабового універсального прокату та заготовок для гнутих профілів

Назва сталі	Товщина, мм	Механічні властивості										
		Границя плинності σ_T , Н/мм ²	Тимчасовий опір σ_B , Н/мм ²	Відносне видовження δ_5 , %	Ударна в'язкість, Дж/см ² , не менше ніж							
					КСУ				КСВ			
		не менше ніж			за температури, °С							
		-20	-40		-70	0	-20	-40	-60	+20		
С235	Від 2,0 до 3,9 включ. 4,0	235	360	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		235	360	—	—	—	—	—	—	—	—	—
С245	Від 2,0 до 3,9 включ. » 4,0 » 30 »	245	370	20	—	—	—	—	—	—	—	—
		235	370	24	29	—	—	34	—	—	—	29
С255	Від 2,0 до 3,9 включ. » 4,0 » 10 » Понад 10 » 20 » » 20 » 40 »	255	380	20	—	—	—	—	—	—	—	—
		245	380	25	29	29	—	34	34	—	—	29
		245	370	25	29	29	—	34	34	—	—	29
		235	370	25	29	29	—	34	34	—	—	29
С345	Від 2,0 до 3,9 включ. » 4,0 » 10,0 » » 10 » 20,0 » » 20,0 » 40,0 » » 40,0 » 60,0 » » 60 » 80 » » 80 » 160 »	345	490	21	—	—	—	—	—	—	—	—
		345	490	21	—	39	34	—	34	34	—	29
		325	470	21	—	34	29	—	34	34	—	29
		305	460	21	—	34	29	—	34	34	—	29
		285	450	21	—	34	29	—	34	34	—	29
		275	440	21	—	34	29	—	34	34	—	29
		265	430	21	—	34	29	—	34	34	—	29
С345К	Від 4,0 до 10 включ.	345	470	20	—	39	—	—	—	—	—	
С355	Від 8,0 до 16 включ. Понад 16 » 40 » » 40 » 60 » » 60 » 80 » » 80 » 100 » » 100 » 160 »	355	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—
		345	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—
		335	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—
		325	460	21	—	—	—	—	34	34	—	—
		315	460	21	—	—	—	—	34	34	—	—
		295	460	21	—	—	—	—	34	34	—	—
С355-1	Від 8 до 16 включ. Понад 16 » 40 » » 40 » 50 »	355	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
		345	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
		335	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
С355К	Від 8,0 до 16 включ. Понад 16 » 40 » » 40 » 50 »	355	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
		345	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
		335	470	21	—	34	34	—	34	34	—	—
С355П	Від 8,0 до 16 включ. Понад 16 » 40 »	355	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—
		345	470	21	—	—	—	—	34	34	—	—

Назва сталі	Товщина, мм	Механічні властивості											
		Границя плинності σ_T , Н/мм ²	Тимчасовий опір σ_B , Н/мм ²	Відносне видовження δ_5 , %	Ударна в'язкість, Дж/см ² , не менше ніж								
					КСУ				КСВ				КСУ після механічного старіння
		не менше ніж			за температури, °С								
		-20	-40		-70	0	-20	-40	-60	+20			
С390-1	Від 8,0 до 50 включ.	390	520	20	—	—	—	—	—	—	34	34	—
С390	» 8,0 » 50 »	390	520	20	—	—	—	—	—	—	34	29	—
С440	» 8,0 » 50 »	440	540	20	—	—	—	—	—	—	66	66	—
С550	» 8,0 » 50 »	540	640	17	—	—	—	—	—	—	66	66	—
С590	» 8,0 » 40 »	590	685	14	—	—	—	—	—	—	66	66	—

Примітка 1. Максимальне значення тимчасового опору σ_B для прокату зі сталі С390, С390-1, С440, С550, С590 не повинно перевищувати встановлених норм більше ніж на 160 Н/мм².

Примітка 2. Знак «—» означає, що показник не нормують.

Примітка 3. Відносне видовження (δ_{80}) листового прокату завтовшки від 2,0 мм до 2,8 мм включно зі сталі С235 повинно бути не менше ніж 28 %, С245 — не менше ніж 26 %, С255 — не менше ніж 25 %.

Примітка 4. Для сталі С355П границя плинності σ_T за температури 600 °С повинна бути не менше ніж 200 Н/мм², тимчасовий опір σ_B — не менше ніж 240 Н/мм².

Таблиця 5 — Механічні властивості фасонного прокату

Назва сталі	Товщина, мм	Механічні властивості									
		Границя плинності σ_T , Н/мм ²	Тимчасовий опір σ_B , Н/мм ²	Відносне видовження δ_5 , %	Ударна в'язкість, Дж/см ² , не менше ніж						
					КСУ			КСV			КСU після механічного старіння
					за температури, °С						
не менше ніж				-40	-70	0	-20	-40	+20		
С245	Від 4 до 20 включ. » 20 » 40 »	245	370	25	29	—	—	34	—	—	29
		235	370	24	29	—	—	34	—	—	29
С255	Від 4 до 10 включ. Понад 10 до 20 включ. » 20 » 40 »	255	380	25	29	29	—	34	34	—	29
		245	370	25	29	29	—	34	34	—	29
		235	370	24	29	29	—	34	34	—	29
С345	Від 4 до 10 включ. Понад 10 » 20 » » 20 » 40 »	345	480	21	—	39	34	—	34	—	—
		325	470	21	—	34	29	—	34	—	—
		305	460	21	—	34	—	—	34	—	—
С345К	Від 4 до 10 включ.	345	470	20	—	39	—	—	—	—	—
С 355	Від 8 до 16 включ. Понад 16 » 40 »	355	470	21	—	34	34	—	34	—	—
		345	470	21	—	34	34	—	34	—	—
С355-1	Від 8 до 16 включ. Понад 16 » 40 »	355	480	21	—	34	34	—	34	—	—
		345	480	21	—	34	34	—	34	—	—
С390	Від 8 до 10 включ.	390	520	20	—	34	34	—	34	34	—
	Понад 10 » 20 »	380	500	20	—	34	34	—	34	34	—
	» 20 » 40 »	370	490	20	—	34	34	—	34	34	—

Примітка 1. Для прокату зі сталі С345, С355, С355-1 визначення ударної в'язкості КСУ за температури мінус 70 °С проводять на профілях завтовшки до 11 мм включно, за узгодженням виробника зі споживачем — завтовшки до 40 мм включно.

Примітка 2. Знак «—» означає, що показник не нормують.

Додаток К

ДОВІДКОВІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ

Таблиця К.1 – Риски прокатних кутиків про однорядному розміщенні отворів

Ширина полички кутика, b , мм	Риска a , мм	Максимальний діаметр отвору d , мм	Ширина полички кутика, b , мм	Риска a , мм	Максимальний діаметр отвору d , мм
45	25	11	80	45	21
50	30	13	90	50	23
56	30	13	100	55	23
63	35	17	110	60	25
70	40	19	125	70	25
75	45	21	140	75	25

Примітка: Наведені в таблиці риски дорівнюють відстані від обушка до осі отворів під болти чи заклепки при умові їх однорядного розміщення

Таблиця К.2

Площі перерізу болтів

$d_b = (\text{мм})$	16	20	24	30	36
$A_b = (\text{см}^2)$	2,01	3,14	4,52	7,06	10,17
$A_{bn} = (\text{см}^2)$	1,57	2,45	3,53	5,61	8,16

Таблиця К.3. Розрахункові опори бетону за ДБН В.2.6-98:2009 "Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі зміною № 1". – К., 2020

Клас міцності бетону	С 8/10	С 12/15	С 16/20	С 20/25	С 25/30
Розрахунковий опір стиску, МПа	6,0	8,5	11,5	14,5	17,0

Таблиця К.4. Місце під ключ при постановці болтів
(мінімальна відстань від центру отвору до деталей, що обмежують рух ключа)

Діаметр болта, мм	12	16	20	24	30	36	42	48
Відстань до отвору, мм	30	35	40	45	55	68	80	95

ДОДАТОК Л

КОЕФІЦІЄНТИ НАДІЙНОСТІ ЗА ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ γ_n

Таблиця Л.1 - Значення коефіцієнта надійності за відповідальністю γ_n
(ДБН В.1.2-14:2018, табл. 5)

Клас наслідків (відповідальності)	Категорія відповідальності конструкції	Значення γ_n , які використовуються в розрахункових ситуаціях				
		усталених		перехідних		аварійних
		перша група граничних станів	друга група граничних станів	перша група граничних станів	друга група граничних станів	перша група граничних станів
СС3	А	1,250	1,000	1,050	0,975	1,050
	Б	1,200		1,000		
	В	1,150		0,950		
СС2	А	1,100	0,975	0,975	0,950	0,975
	Б	1,050		0,950		
	В	1,000		0,925		
СС1	А	1,000	0,950	0,950	0,925	0,950
	Б	0,975		0,925		
	В	0,950		0,900		

Примітка 1. Якщо у нормах проектування певних типів будівель або споруд не наведено конкретних рекомендацій щодо розподілу конструкцій за категоріями відповідальності відповідно до класів наслідків (відповідальності), слід їх відносити до категорії Б.

Примітка 2. Для об'єктів нового будівництва, що споруджуються в охоронній зоні пам'яток культурної спадщини національного та місцевого значення, які за всіма характеристиками можливих наслідків їх відмови відносяться до класу наслідків (відповідальності) СС1, коефіцієнт надійності γ_n , що передбачений для вищих класів наслідків, не застосовується.

ДОДАТОК М

ГРАНИЧНІ ГНУЧКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ

Таблиця М.1 – Граничні гнучкості елементів при стиску (ДБН В.2.6-198:2014, табл. 13.9)

№ з/п	Елементи конструкцій	Гранична гнучкість стиснутих елементів λ_u
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 50 м;	$180 - 60\alpha$
	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 труб і парних кутиків;	$210 - 60\alpha$
	б) просторових і структурних конструкцій із одиночних кутиків з болтовими з'єднаннями	$220 - 40\alpha$
3	Верхні пояси ферм, не закріплені у процесі монтажу (граничну гнучкість після завершення монтажу слід приймати за позицією 1)	220
4	Основні колони	$180 - 60\alpha$
5	Другорядні колони (стояки фахверку, ліхтарів тощо), елементи решітки колон, елементи вертикальних в'язей між колонами (нижче балок кранових колій)	$210 - 60\alpha$
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	200
7	Стиснуті і ненавантажені елементи просторових конструкцій таврового і хрестового перерізу, що підлягають дії вітрових навантажень, при перевірці гнучкості у вертикальній площині	150
<p>Примітка. $\alpha = \frac{N}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c}$ - коефіцієнт, який приймається не менше 0,5 (у необхідних випадках замість φ слід застосовувати φ_e)</p>		

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять
з дисципліни «Будівельні конструкції»
Частина 1

*(для здобувачів вищої освіти
спеціальності G 19 – «Будівництво та цивільна інженерія»)
(Електронне видання)*

Укладачі: БІЛОШИЦЬКИЙ Микола Володимирович
БІЛОШИЦЬКА Наталія Іванівна

Оригінал - макет Н.І. Білошицька

Підписано до друку _____

Формат 60×84¹/₁₆. Папір типограф. Гарнитура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. ____ . Обл.-вид.арк. ____ .

Тираж ____ прим. Вид. № ____ . Замовл. № ____ . Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Адреса видавництва: м. Київ, вул. Іоанна Павла II буд 17,

Телефон: +38(050) 218 04 78, факс (064 52) 4 03 42

E-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com