

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



**ДНІПРОВСЬКА
ПОЛІТЕХНІКА**
1899



**КАФЕДРА
БУДІВНИЦТВА,
ГЕОТЕХНІКИ
І ГЕОМЕХАНІКИ**

ФАКУЛЬТЕТ АРХІТЕКТУРИ, БУДІВНИЦТВА ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ
Кафедра будівництва, геотехніки та геомеханіки

РОЗРОБКА СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ БАЛОЧНОЇ КЛІТКИ

**Методичні рекомендації до виконання розрахункового завдання
з дисципліни «Металеві конструкції»
для здобувачів ступеня бакалавра спеціальності
192 (G19) Будівництво та цивільна інженерія**

Дніпро
НТУ «ДП»
2026

Розробка сталевих конструкцій балочної клітки [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання розрахункового завдання з дисципліни «Металеві конструкції» для здобувачів ступеня бакалавра зі спеціальності 192 (G19) Будівництво та цивільна інженерія / уклад.: Г.П. Іванова, С.М. Гапєєв, Г.А. Старушенко, В.В. Янко, І.В. Чушкіна, С.О. Олішевська ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2026. – 43 с.

Укладачі:

Г.П. Іванова, канд. техн. наук, доц.;

С.М. Гапєєв, д-р техн. наук, проф.;

Г.А. Старушенко, д-р техн. наук, проф.;

І.В. Чушкіна, канд. техн. наук, доц.;

В.В. Янко, канд. техн. наук, доц.;

С.О. Олішевська, д-р філос., доц.

Затверджено науково-методичною комісією спеціальності G19 Будівництво та цивільна інженерія (протокол № 13 від 17.03.2026) за поданням кафедри будівництва, геотехніки та геомеханіки (протокол № 3 від 17.03.2026).

Уміщено вимоги та рекомендації до виконання розрахункового завдання з розробки сталевих конструкцій балочної клітки – компонування конструктивної схеми робочого майданчика (балочної клітки), розрахунок прокатної балки настилу, головної складеної балки та колони з колонного прокатного профілю, а також контрольні питання для перевірки знань здобувачів.

Орієнтовано на активізацію навчальної діяльності здобувачів.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки С.С. Гапєєв, д-р техн. наук, проф.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Основи металевих конструкцій

Контрольні питання

1.2 Елементи металевих конструкцій і конструкцій сталевого каркасу

Контрольні питання

2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОГО ЗАВДАННЯ

2.1 Вихідні дані

2.2. Компонування конструктивної схеми

2.3. Розрахунок балки настилу

2.4. Розрахунок головної складеної балки

2.4.1. Призначення розмірів складеної балки

2.4.2. Зміна перерізу складеної балки за довжиною

2.4.3. Перевірка місцевих і приведених напружень

2.4.4. Перевірка місцевої стійкості стінки

2.4.5. Розрахунок поясних швів

2.4.6. Розрахунок опорного кінця балки

2.5. Розрахунок центрально-стиснутої колони

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТОК 1

ДОДАТОК 2

ДОДАТОК 3

ДОДАТОК 4

ДОДАТОК 5

ДОДАТОК 6

ВСТУП

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальності 192 (G19) Будівництво та цивільна інженерія, які вивчають дисципліну «Металеві конструкції».

Методичні рекомендації містять розрахункове завдання, спрямоване на формування та закріплення практичних навичок інженерного розрахунку елементів металевих конструкцій відповідно до вимог чинних нормативних документів. Під час виконання завдання здобувачі опановують методику визначення зусиль, підбору та перевірки перерізів сталевих елементів за граничними станами, а також оцінювання їх несучої здатності та жорсткості.

Розрахункове завдання логічно структуроване та викладене у вигляді послідовних етапів розрахунку, що охоплюють основні питання проектування металевих конструкцій. Кожен етап містить чітко визначену мету, вихідні дані та порядок виконання розрахунків, що сприяє системному засвоєнню теоретичних положень курсу.

Виконання розрахункового завдання дозволяє закріпити теоретичні знання та сформувати практичні компетентності, необхідні для подальшої професійної діяльності, а саме здобувачі навчаються:

- виконувати інженерні розрахунки елементів і вузлів металевих конструкцій;
- застосовувати нормативні вимоги та розрахункові методи при проектуванні сталевих конструкцій;
- приймати обґрунтовані конструктивні рішення з урахуванням умов роботи, навантажень та експлуатаційних вимог;
- оцінювати надійність, економічність і доцільність прийнятих конструктивних рішень.

Під час підготовки до виконання розрахункового завдання здобувач повинен:

- ознайомитися з методичними рекомендаціями;
- повторити лекційний матеріал з відповідних тем дисципліни «Металеві конструкції»;
- за необхідності опрацювати додаткові нормативні та довідкові джерела;
- виконати розрахункове завдання відповідно до заданого варіанта;
- підготуватися до захисту виконаної роботи.

Загальні вимоги до виконання розрахункового завдання, що забезпечують максимальну оцінку:

- правильність і повнота виконання розрахунків;
- обґрунтованість прийнятих інженерних рішень;
- володіння теоретичним матеріалом з теми розрахункового завдання;
- логічність, послідовність та професійна грамотність викладення

матеріалу;

- відповідність оформлення звіту чинним стандартам;
- своєчасність подання звіту.

Звіт з розрахункового завдання повинен містити:

- тему, та вихідні дані розрахункового завдання;
- детальний хід розрахунків із поясненнями та відповідними ескізами;
- результати підбору та перевірки елементів металевих конструкцій;
- висновки щодо несучої здатності та доцільності прийнятих

конструктивних рішень.

Здобувач повинен оформити звіт за результатами розрахункового завдання, захистити його та подати викладачу. Звіт у форматі pdf (doc) подається в електронному вигляді через Microsoft Teams у папку, визначену викладачем.

Оцінювання розрахункового завдання (максимум 100 балів):

- правильність виконання розрахунків та обґрунтованість рішень – до 50 балів;
- якість та повнота оформлення звіту, включаючи графічну частину – до 30 балів;
- знання теоретичних основ і захист роботи – до 20 балів.

Штрафні бали нараховуються за:

- невідповідність звіту вимогам оформлення – 5 балів;
- не виконання графічної частини – 20 балів
- несвоєчасне подання звіту – 5 балів.

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дисципліна «Металеві конструкції» є базовою в підготовці здобувачів до самостійної роботи у сфері будівництва промислових (цивільних) об'єктів.

Металеві конструкції та їх елементи широко вживані у будівництві цивільних та промислових споруд. Якісні теоретичні знання та виконання розрахункового завдання дозволять:

- компонувати конструктивну схему металевої балочної клітки;
- виконувати розрахунок елементів металевих конструкцій балочної клітки;
- проєктувати та розраховувати з'єднання елементів конструкцій балочної клітки
- застосовувати методи оптимального проєктування.

Знання вище перелічених принципів дасть змогу фахівцям розробляти оптимальні проєкти металевих конструкції цивільних та промислових будівель, як за показниками надійності так і економічності.

Мета видання цих методичних рекомендацій – надати напрямок самостійної роботи здобувачу при вивченні курсу, допомогти виділити основні положення окремих його розділів.

У результаті виконання розрахункового завдання з дисципліни «Металеві конструкції» здобувач повинен отримати необхідні уявлення про принципи розрахунку і навчитися користуватися нормативною та довідковою літературою. Робота над навчальним матеріалом включає:

- освоєння необхідних теоретичних відомостей за курсом в процесі занять;
- консультації та самостійну роботу відповідно до рекомендацій за розділами курсу і контрольними питаннями;
- практичне закріплення засвоєного матеріалу при виконанні і захисту розрахункового завдання.

Засвоївши матеріал дисципліни, здобувач повинен уміти:

- компонувати конструктивну схему робочого майданчика (балочну клітку);
- розраховувати та підбирати переріз прокатні балки настилу, головної складеної балки, колони з колонного прокатного профілю.

Рекомендації побудовано таким чином, що користуючись ними, здобувач може виконувати завдання як під керівництвом викладача, так і самостійно. Вони встановлюють обсяг і рівень засвоєння знань з виконання розрахункового завдання і сприяють поліпшенню якості самостійної роботи й підвищенню рівня підготовки фахівця.

Зміст методичних рекомендацій до виконання розрахункового завдання відповідає робочій програмі дисципліни.

Для виконання розрахункового завдання необхідно засвоїти наступні розділи дисципліни «Металеві конструкції»:

- основи металевих конструкцій;
- елементи металевих конструкцій і конструкцій сталевих каркасів.

В кінці кожного розділу є контрольні питання для самостійної роботи, самоперевірки та підготовки до іспиту. Крім цього, рекомендується користуватися додатковою літературою для розширення обсягу досліджуваного матеріалу.

1.1 Основи металевих конструкцій

Цей розділ дисципліни дає уявлення про історію розвитку металевих конструкцій, їх особливості, організації проектування і областях раціонального застосування.

Подаються відомості про матеріали для металевих конструкцій, їх класифікації, характеристики і робота при різних навантаженнях. Ці свідчення необхідні для правильного вибору матеріалу конструкції, що проектується. Знання сортаменту дозволяє вибрати ефективні профілі.

Проектування конструкцій неможливо без оволодіння методикою розрахунку. У вітчизняній практиці прийнято метод розрахунку металевих конструкцій за граничними станами. Слід добре засвоїти положення цього метода, вміти оцінювати роботу елементів і конструкцій при різних навантаженнях, встановлювати їх можливий граничний стан - причину, в результаті якої конструкція перестане задовольняти пропонованим до неї вимогам.

Важливими є відомості про з'єднання металевих конструкцій: зварних і болтових. Слід засвоїти області доцільного застосування, принципи роботи, методи розрахунку і конструювання різних з'єднань.

Завершують цей розділ відомості про економіку металевих конструкцій.

Контрольні питання

1. Класифікація та область застосування металевих конструкцій; основні вимоги, що задаються при їх проектуванні.
2. Переваги і недоліки сталевих і алюмінієвих конструкцій.
3. Корозія металу. Основні методи боротьби з корозією в різних видах конструкцій.
4. Класифікація сталей по міцності. Механічні характеристики сталей. Марки сталей для металевих конструкцій.
5. Класифікація і основні характеристики алюмінієвих сплавів для металевих конструкцій.
6. Сортамент. Загальна характеристика профілів сортаменту і доцільні області їх застосування.
7. Робота сталі на розтягнення; діаграма розтягування сталі, характерні точки діаграми.
8. Основні положення методу розрахунку металевих конструкцій за граничними станами;

групи граничних станів.

9. Навантаження і впливи; нормативні, і розрахункові навантаження поєднання навантажень. Нормативні та розрахункові опори сталі.
10. Характеристики граничних станів центрально-стиснутих і розтягнутих елементів.
11. Характеристики граничних станів елементів, що згинаються.
12. Характеристики граничних станів позацентрово-розтягнутих і позацентрово-стиснутих елементів.
13. Характеристика з'єднань металевих конструкцій.
14. Види зварювання, типи зварних швів і з'єднань, їх розрахунок.
15. Види і загальна характеристика болтових з'єднань. Розрахунок болтів. Особливості роботи і розрахунку з'єднань на високоміцних болтах.

1.2 Елементи металевих конструкцій і конструкцій сталевого каркасу

У другому розділі курсу вивчаються конструювання і розрахунок елементів металевих конструкцій, оскільки такі елементи, як балки різного призначення, центрально-стиснуті стійки і колони, а також ферми майже завжди знаходять застосування в складі конструкцій більшості споруд.

При вивченні балок і балкових конструкцій треба скласти чітке уявлення про їх конструктивні та компоновальні рішення. Слід пам'ятати, що балка – елемент, що згинається; треба навчитися бачити різницю між прокатними і складеними балками за їх призначенням, порядком розрахунку та конструюванням.

Центрально-стиснуті стрижні (стійки і колони) широко застосовуються для підтримки міжповерхових перекриттів, майданчиків, естакад, як складові елементи ферм і інших конструкцій. Необхідно усвідомити особливості розрахунку і конструювання стійок суцільного і наскрізного перерізу, порядок підбору перерізів і перевірки їх на стійкість, а також конструктивне рішення стрижнів колон, баз, оголовків.

Контрольні питання

1. Характеристика балкових конструкцій. Типи балок, компоновка балочних конструкцій (кліток).
2. Прокатні сталеві балки. Підбір і перевірка перетину прокатних балок.
3. Балки складеного перерізу (складені балки).
4. Типи перерізів, визначення основних розмірів перерізу балки (висота балки і стінки, товщина стінки і поясів, ширина поясів), компоновання складеного перерізу балки.
5. Перевірка міцності і прогинів складених зварних балок.
6. Перевірка і забезпечення загальної стійкості сталевих балок.
7. Перевірка і забезпечення місцевої стійкості елементів перерізу складених балок (поясів і стінки).
8. Розрахунок з'єднання поясів складеної балки зі стінкою.
9. Стики і опорні вузли балок складеного перерізу, їх конструктивне оформлення і розрахунок.

10. Типи центрально-стиснутих суцільних колон, їх конструювання і розрахунок.
11. Типи центрально-стиснутих наскрізних колон, їх конструювання і розрахунок стрижня.
12. Бази центрально-стиснутих колон, їх конструювання і розрахунок.
13. Типи позацентрово-стиснутих суцільних колон, їх конструювання і розрахунок.
14. Типи позацентрово-стиснутих наскрізних колон, їх конструювання і розрахунок.
15. Вузли та бази позацентрово-стиснутих колон, їх конструювання і розрахунок.

2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОГО ЗАВДАННЯ

Тема: Розробка сталевих конструкцій балочної клітки.

Завдання: скомпонувати конструктивну схему робочого майданчика (балочної клітки), прокатну балку настилу, головну складену балку і стійку-колону з колонного прокатного профілю.

Розрахунково-пояснювальна записка повинна містити: титульний аркуш (*додаток б*), вихідні дані, конструктивні розрахунки балки настилу, головної балки і колони. На аркушах формату А4 наводяться відповідні розрахунки, пояснення, ескізи. Границі: верхня та нижня по 20 мм, ліва – 25 мм, права – 10 мм

Графічна частина розрахункового завдання виконується на аркуші формату А2, де повинні бути зображені: план робочого майданчика з необхідними видами та розрізами, на стадії КМД відправний елемент головної балки з необхідними перетинами, деталями і видами, специфікація на відправний елемент, примітки і умовні позначення (*додаток 5*).

2.1 Вихідні дані

Робота над розрахунковим завданням починається з встановлення вихідних даних для проєктування, розрахункових опорів і навантажень, що діють на робочий майданчик.

Вихідними даними при проєктуванні є:

- проліт головної балки L (крок колони уздовж майданчику);
- відстань між головними балками B (крок колон поперек майданчику);
- відстань між балками настилу a ;
- сумарне нормативне розподілене навантаження на майданчик q_n (що включає постійні і тимчасові навантаження);
- матеріал (сталь) для конструкцій робочого майданчика;
- геометрична довжина колони l ;
- усереднений коефіцієнт надійності за навантаженням γ_f ;
- граничний прогин головної балки f_n (в частках від L).

Вихідні дані визначаються відповідно до таблиць 2.1 і 2.2 в залежності від шифру залікової книжки (за передостанньою і останньою цифрами номеру залікової книжки).

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

Передостання цифра залікової книжки	L , м	B , м	a , м	q_n . кПа (кН/м ²)
1	15	7,5	0,6	18,0
2	16	6	0,8	14,5
3	16,5	7,5	0,75	12,5
4	17	7,5	1,0	11,5
5	18	6	1,2	13,5
6	19	4,5	1,0	17,0
7	19,5	4,5	0,75	18,0
8	18	4,5	1,2	21,0
9	17	6	1,0	16,5
0	16,5	6	0,75	17,5

Таблиця 2.2 – Вихідні дані

Остання цифра залікової книжки	Матеріал конструкцій (сталь)	l , м	γ_f	f_u , см
1	C235	6,2	1,2	L/350
2	C345	5,8	1,25	L/250
3	C255	6,3	1,3	L/350
4	C375	6,0	1,23	L/250
5	C255	6,1	1,21	L/350
6	C345	6,0	1,28	L/250
7	C375	5,9	1,29	L/250
8	C235	5,7	1,24	L/350
9	C255	5,5	1,22	L/350
0	C345	5,8	1,26	L/250

Залежно від заданого матеріалу конструкцій визначаються розрахункові опори сталі й зварних з'єднань. Розрахункові характеристики сталі для контрольної роботи наведено в табл. 2.3, розрахункові характеристики зварних з'єднань з кутовими швами - в табл 2.4.

Таблиця 2.3 – Розрахункові опори сталевого прокату, МПа

Сталь	Вид прокату	Товщина прокату, мм	Розрахунковий опір		
			R_y	R_s	R_p
C235	фасон	до 20 вкл.	230	135	350
	лист	до 20 вкл.	230	135	350
		св. 20 до 40	220	125	350
C255	фасон	до 10 вкл.	250	145	370

Сталь	Вид прокату	Товщина прокату, мм	Розрахунковий опір		
			R_y	R_s	R_p
		св. 10 до 20	240	140	360
		лист	до 20 вкл.	240	140
		св. 20 до 40	230	135	360
		лист	до 10 вкл.	335	195
С345	фасон і лист	св. 10 до 20	315	180	460
		св. 20 до 40	300	175	450
		лист	до 10 вкл.	365	210
С375	фасон і лист	св. 10 до 20	345	200	480
		св. 20 до 40	325	190	470
		лист	до 10 вкл.	365	210

Примітки:

1. За товщину фасонного прокату слід приймати товщину полиці (розмір t в сортаменті).

2. R_y - при розтягуванні, стисненні і вигині; R_s - при зсуві; R_p - при зминанні торцевої поверхні (за наявності пригонки).

Таблиця 2.4 - Розрахункові опори зварних з'єднань з кутовими швами

Сталь	Зварювальні матеріали		Напружений стан	
	Тип електроду	Марка дроту	Зріз по металу шва R_{wf} , МПа	Зріз по металу межі сплаву R_{wz} , МПа
С235	Э42, Э42А	Св-08	180	160
С255		Св-08А		165
С345	Э50, Э50А	Св-10ГА	215	205
С37Г				215

2.2. Компонування конструктивної схеми

Перш за все необхідно скомпонувати конструктивну схему робочого майданчика і дати її опис в розрахунково-пояснювальній записці.

Рекомендується застосовувати шарнірне обпирання колон (стійок) на фундаменти в обох напрямках і шарнірне сполучення колон з балками, при цьому просторова незмінність каркасу забезпечується встановленням поздовжніх і поперечних зв'язків між колонами. Колони виконуються з прокатних широкополочних двотаврів колонного типу.

Розмір комірки (осередка) балочної клітки, тобто крок колон в поздовжньому і поперечному напрямках, зазначається у вихідних даних курсового проекту. Головні балки рекомендується розташовувати вздовж довгої сторони майданчику і спирати її на полиці колон збоку. Головні балки виконуються із складених зварних двотаврів.

Крок балок настилу приймається таким, щоб він цілим числом укладався в прольоті допоміжної балки. Це враховано у вихідних даних до курсової роботи. Рекомендується поверхове обпирання балок настилу на головні балки. Власне настил виконується з листової сталі. Балки настилу виконуються з прокатних двотаврів, до верхніх поясів яких приварюється настил.

Заглиблення низу бази колони відносно рівня підлоги може прийматися в межах 0,3 - 0,4 м.

Загальну довжину робочого майданчика приймати рівною трьом поздовжнім крокам колон, а загальну ширину – трьом поперечним крокам колон. Орієнтовна схема робочого майданчика з необхідними розмірами і характерними вузлами сполучення конструктивних елементів представлені на рис. 2.1. Кінцеві розміри на схемі вказують після завершення розрахунків.

2.3. Розрахунок балки настилу

Розрахункова схема балки настилу – однопролітна шарнірно-обперта балка, проліт якої дорівнює поперечному кроку колон робочого майданчика B , навантажена рівномірно розподіленим навантаженням q_1 (рис. 2.3).

Рішення вузла 1 зображено на рис. 2.2., рішення вузла 2 (обпирання складеної балки на колону) зображено на рис. 2. 10.

План робочого майданчика

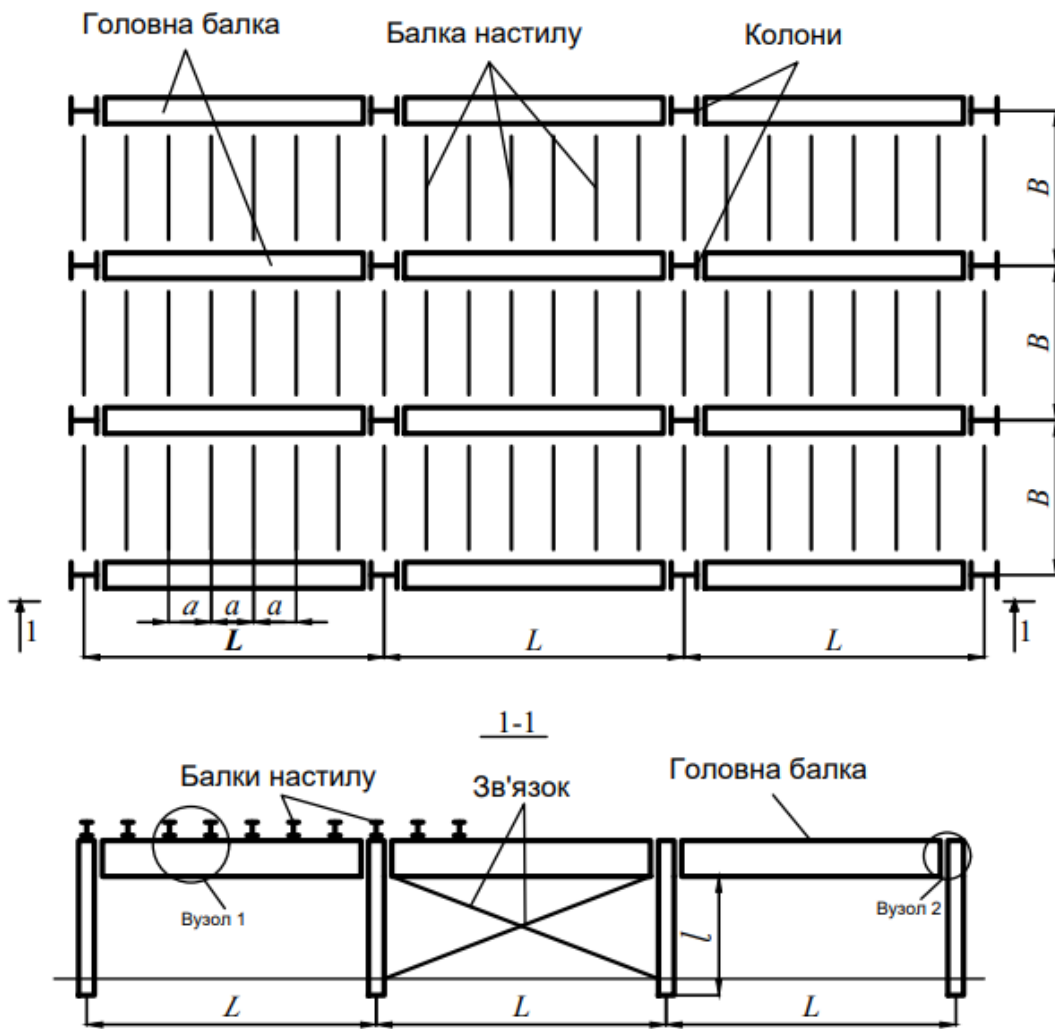


Рис. 2.1– Схема робочого майданчика

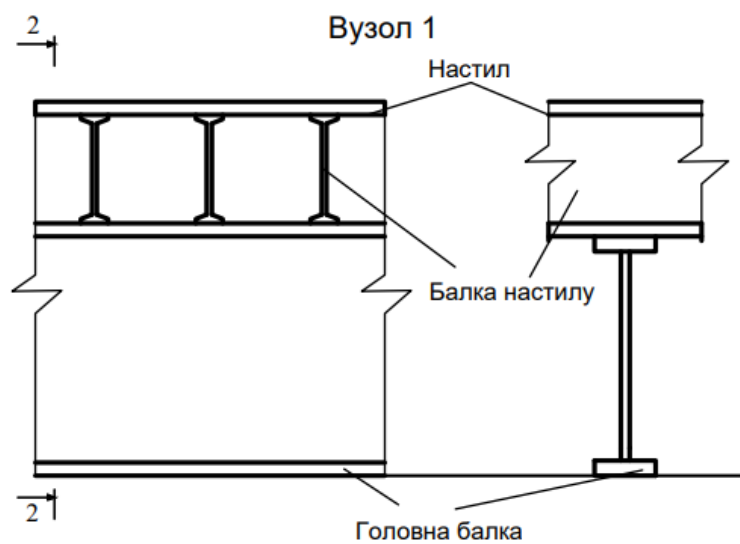


Рис. 2.2 – Рішення вузла 1

Нормативне значення погонного навантаження на балку (кН/м) [1]:

$$q_{n_1} = q_n \cdot a.$$

де q_n - нормативне навантаження на робочий майданчик (вихідні дані);
 a - відстань між балками настилу (вихідні дані).

Розрахункове значення погонного навантаження на балку:

$$q_1 = q_{n_1} \cdot \gamma_f \tag{2.1}$$

де γ_f - усереднений коефіцієнт надійності за навантаженням.

Розрахункові значення згинаючого моменту (кНм) і поперечної сили (кН) визначаються за формулами:

$$\left. \begin{aligned} M_{max} &= \frac{q_1 \cdot B^2}{8}, \\ Q_{max} &= \frac{q_1 \cdot B}{2}. \end{aligned} \right\} \tag{2.2}$$

Розрахункова схема балки та епюри згинаючих моментів і поперечних сил зображено на рисунку 2.3.

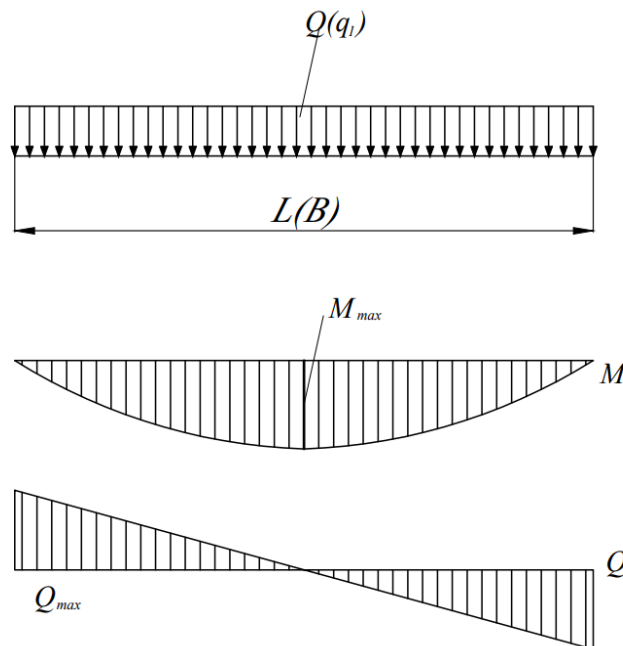


Рис. 2.3. – Розрахункова схема балки і епюри зусиль (у дужках позначення для балок настилу).

Для підбору прокатного профілю для балки настилу необхідно знайти значення необхідного моменту опору перерізу двотаврової прокатної балки:

$$W_{x, cal} = \frac{M_{max} \cdot \gamma_n}{R_y \cdot \gamma_c}, \quad (2.3)$$

де M_{max} – максимальний згинаючий момент, Нм;

R_y - розрахунковий опір фасонної сталі, Па;

$\gamma_n = 1$ - коефіцієнт надійності за призначенням (для курсового проєкту);

$\gamma_c = 1$ - коефіцієнт умов роботи (для курсового проєкту).

Знаючи $W_{x, cal}$ підбирається за сортаментом (додаток 2) необхідний номер прокатного двотавру (фактичне $W_x > W_{x, cal}$) й виписуються геометричні характеристики його перерізу. Перевірка жорсткості балки виконується за формулою:

$$f = \frac{5q_{n1} \cdot B^4}{384 \cdot E \cdot I_x} \leq f_u, \quad (2.4)$$

де f - фактичний прогин балки, м;

q_{n1} - нормативне значення погонного навантаження на балку, Н/м;

B - проліт балки, м;

$E = 2,06 \cdot 10^4$ кН /см² = $2,06 \cdot 10^{11}$ Па - модуль пружності сталі;

I_x - момент інерції перерізу балки, м⁴;

$f_u = B/200$ - граничний прогин балки настилу, см (для усіх варіантів), отримане значення необхідно перевести в (м) і тільки після цього підставити у формулу 2.4.

Якщо виявляється, що $f > f_u$, то необхідно прийняти більший номер двотавра і повторити перевірку жорсткості.

Перевірка міцності балки по дотичним напруженням (проводиться в навчальних цілях, так як вона забезпечується за умовами прокату двотаврових балок):

$$\tau_{max} = \frac{Q_{max} \cdot S_x}{I_x \cdot t_w} \leq R_s \cdot \gamma_c, \quad (2.5)$$

де τ_{max} - максимальне дотичне напруження, Па;

S_x - статичний момент половини перерізу балки відносно нейтральної осі, м³;

t_w - товщина стінки балки, м;

R_s - розрахунковий опір фасонної сталі зсуву, Па.

Перевірка загальної стійкості балки настилу не потрібна, оскільки до її стиснутого поясу прикріплений сталевий настил.

Місцева стійкість стінки і полиць прокатних балок забезпечена за умовами їх прокатки.

2.4. Розрахунок головної складеної балки

Розрахункова схема головної складеної балки робочого майданчика - однопролітна балка прольотом L з шарнірним обпиранням, навантажена розрахунковим рівномірно розподіленим навантаженням q , до якої наводяться зосереджені сили в місцях обпирання балок настилу (рис.2.3).

Момент M_{max} (кНм) і поперечна сила Q_{max} (кН) дорівнюють:

$$\begin{aligned} M_{max} &= \frac{q \cdot L^2}{8}, \\ Q_{max} &= \frac{q \cdot L}{2}. \end{aligned} \tag{2.6}$$

де $q = q_n \cdot \gamma_f \cdot B$, в кН/м (q_n у вихідних даних).

2.4.1. Призначення розмірів складеної балки

Основним розміром перерізу складеної балки (рис. 2.4) є її висота, яка призначається виходячи з економічних міркувань і максимально допустимого (граничного) прогину.

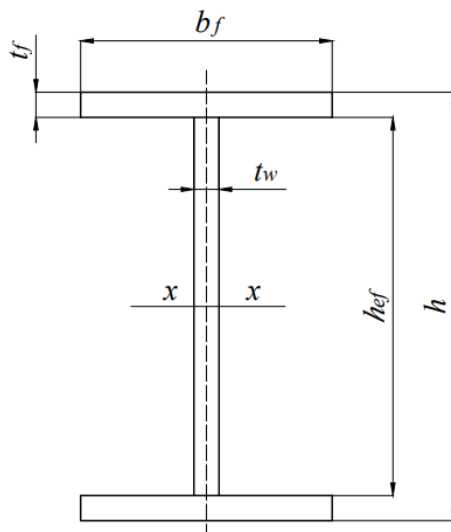


Рис. 2.4. – Переріз складеної балки

Для призначення висоти балки визначають дві величини - оптимальну (h_{opt})

та мінімальну висоту балки (h_{min}).

Оптимальна висота h_{opt} - висота, за якої витрата матеріалу найменша визначається за формулою:

$$h_{opt} = \sqrt[3]{1,5 \cdot \lambda_w \cdot W_{cal}}, \quad (2.7)$$

де $\lambda_w = \frac{h_{ef}}{t_w}$ - гнучкість стінки (h_{ef} и t_w - відповідно висота й товщина стінки балки);

$W_{cal} = \frac{M_{max}}{R_y}$ - необхідний момент опору (R_y - для листової сталі товщиною

до 20 мм).

Попередньо задаємо гнучкість стінки, яку підставляємо до формули 2.7:

$$\lambda_w = 5 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}},$$

де $E=206\,000$ МПа = $2,06 \cdot 10^{11}$ Па - модуль пружності сталі,

R_y - для листової сталі товщиною до 20 мм, Па.

Попередньо задана гнучкість передбачає забезпечення місцевої стійкості стінки без встановлення поздовжніх ребер жорсткості;

Мінімальна висота балки h_{min} , яка забезпечує граничний прогин, для пружної роботи матеріалу дорівнює:

$$h_{min} = \frac{5 \cdot R_y \cdot L^2}{24 \cdot E \cdot \gamma_f \cdot f_u} \quad (2.8)$$

де f_u - граничний прогин головної балки (вихідні дані), м;

γ_f - усереднений коефіцієнт надійності за навантаженням;

R_y - розрахунковий опір листової сталі товщиною понад 20 мм, Па.

При виборі висоти балки h слід приймати її близькою до значення h_{opt} , визначеної з економічних міркувань, і не меншою h_{min} , встановленої з умови граничного прогину, тобто щоб виконувалась наступна умова: $h_{min} \leq h \leq h_{opt}$

Повну висоту головної балки h бажано обирати трохи менше ніж h_{opt} , тому що повна висота дорівнює:

$$h = h_{ef} + 2t_f,$$

де h_{ef} – висота стінки балки;

t_f – товщина поясу балки.

Відхилення цього значення від h_{opt} незначно впливає на витрату сталі. Так, відхилення дійсної висоти від оптимальної на 20% призводить до зміни маси балки приблизно на 4%.

Висоту складеної балки h_{ef} з метою уніфікації необхідно приймати кратною 100 мм та узгоджувати з додатком 1 (сталь товстолистовою).

Товщину стінки призначають з наступних умов:

а) забезпечення міцності стінки на зріз на опорі (при тому, що балка обпирається на опорне ребро)

$$t_w = \frac{1,5 \cdot Q_{\max}}{h \cdot R_s \cdot \gamma_c},$$

де R_s – розрахунковий опір на зріз листової сталі товщиною до 20 мм, Па.

б) забезпечення місцевої стійкості стінки без додаткового зміцнення її поздовжнім ребром (через гнучкість стінки, з деяким запасом вважаючи $h_{ef} \approx h$):

$$t_w \geq \frac{h}{\lambda_w}$$

в) конструктивна вимога: $t_w > 8$ мм.

Товщина стінки повинна бути узгоджена з сортаментом на товстолистову сталь (додаток 1).

При призначенні розмірів поясу товщина поясних листів t_f попередньо призначається в межах 22 - 32 мм (відповідно до сортаменту на широколистову сталь - додаток 1).

З умови зварюваності поясів зі стінкою необхідно дотримуватися вимог, щоб $t_w < t_f < 3t_w$.

Тоді висота стінки дорівнює $h_{ef} = h - 2t_f$.

Необхідну ширину поясного листа b_f , визначають з розрахунку геометричних характеристик перерізу, в такій послідовності:

- необхідний момент інерції перерізу визначається за формулою, см⁴:

$$I_{cal} = I_w + I_f = W_{cal} \cdot \frac{h}{2} \quad (2.9)$$

- момент інерції стінки, см⁴: $I_w = t_w \cdot \frac{h_{ef}^3}{12}$,

- необхідний момент інерції поясів, см⁴: $I_f = I_{cal} - I_w$,

- необхідна площа одного пояса, см²: $A_f = \frac{2I_f}{(h-t_f)^2}$,

- необхідна ширина пояса, см: $b_f = \frac{A_f}{t_f}$.

Ширину поясу призначають відповідно до сортамента на широкосмугову сталь (додаток 1). Для складених балок при виборі ширини поясних листів необхідно виконати ряд вимог:

- вимога загальної стійкості $\frac{b_f}{h} = \frac{1}{3} \div \frac{1}{5}$,

- конструктивна вимога $b_f \geq 180$ мм, $b_f \geq h/10$,

- вимога щодо забезпечення місцевої стійкості

$$\frac{b_{ef}}{t_f} \leq 0,5 \sqrt{\frac{E}{R_y}},$$

де b_{ef} - вільний звис поясного листа, $b_{ef} \approx b_f/2$ (рис. 2.5);

R_y - розрахунковий опір листової сталі відповідно до прийнятої товщини t_f .

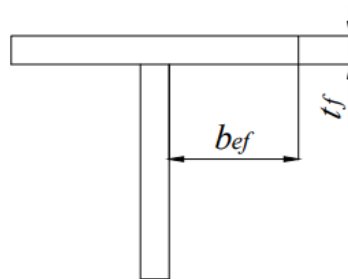


Рис. 2.5 – Вільний звис поясного листа

При невиконанні зазначених вимог змінюють в ту чи іншу сторону товщину поясного листа і визначають нову ширину пояса.

Після призначення розмірів балки визначають дійсні геометричні характеристики перерізу за формулами:

$$\left. \begin{aligned} I &= I_w + I_f = \frac{t_w \cdot h_{ef}^3}{12} + 2 \cdot b_f \cdot t_f \left(\frac{h-t_f}{2} \right)^2, \\ W &= \frac{2 \cdot I}{h}. \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

Подібний переріз перевіряють на міцність за нормальним напруженням

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad (2.11)$$

Недонапруження не повинно перевищувати 5%.

2.4.2. Зміна перерізу складеної балки за довжиною

Розміри перерізу, складеної балки, підібрані за максимальним моментом в середині прольоту, можна зменшити на приопорних ділянках. Цей прийом економічно доцільний при прольоті більше 12м. Переріз балки змінюють за рахунок зменшення висоти або розмірів перерізу поясів. Для покриттів змінюють переріз балки за рахунок зменшення ширини пояса (рис. 2.6), забезпечуючи постійну висоту балки.

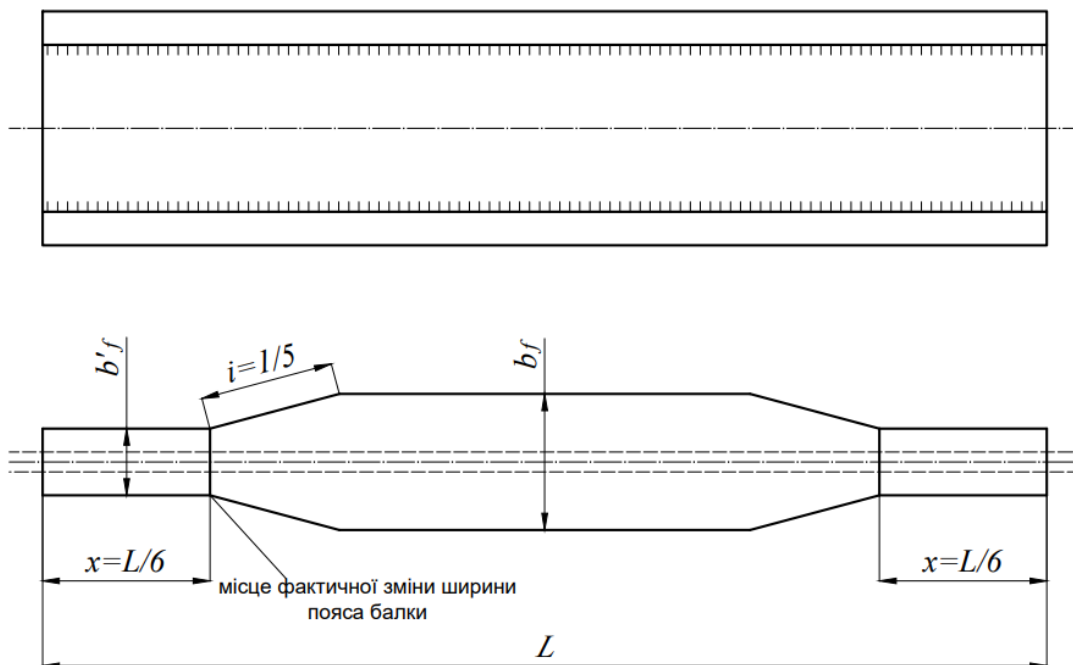


Рис. 2.6. – Зміна перерізу складеної балки за довжиною

При рівномірно розподіленому навантаженні найбільш вигідне по витраті сталі місце зміни перерізу однопролітної балки знаходиться на відстані $x=L/6$ від опори.

Різні перерізи поясів з'єднують прямим або косим звареним стиковим швом. Розрахунковий опір стикового з'єднання, виконаного автоматичним, напівавтоматичним або ручним зварюванням приймаються:

- при стисканні з'єднання незалежно від виду контролю $R_{wy} = R_y$;
- при розтягуванні з'єднання, перевірені фізичними методами контролю,

$R_{wy} = R_y$, не перевірені фізичними методами контролю $R_{wy} = 0,85 \cdot R_y$.

Зменшену ширину пояса b'_f , визначають у наступній послідовності:

Відстань до місця зміни перетину, м

$$x = \frac{L}{6}$$

Згинальний момент в місці зміни перерізу, кН·м

$$M_x = \frac{q \cdot L \cdot x}{2} - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

Поперечна сила в місці зміни перерізу, кН

$$Q_x = \frac{q \cdot L}{2} - q \cdot x$$

Необхідний момент опору на опорі, см³

$$W'_{cal} = \frac{M_x}{R_y}$$

Необхідний момент інерції перерізу на опорі, см⁴

$$I'_{cal} = W'_{cal} \cdot \frac{h}{2}$$

Необхідний момент інерції поясів, см⁴ (I_w – з формули 2.9.)

$$I'_f = I'_{cal} - I_w$$

Необхідна площа пояса, см²

$$A'_f = \frac{2I'_f}{(h - t_f)^2}$$

Необхідна зменшена ширина пояса, см

$$b'_f = \frac{A'_f}{t_f}$$

Отриманий переріз називають опорним.

Зменшена ширина пояса приймається згідно з сортаментом на широкосмугову сталь. При цьому необхідно виконати наступні конструктивні вимоги: $b'_f \geq 180$ мм; $b'_f > h/10$; $b'_f > b_f/2$.

Після призначення розміру b'_f визначають дійсні геометричні характеристики зменшеного опорного перерізу за формулами:

$$\left. \begin{aligned} I' &= \frac{t_w \cdot h_{ef}^3}{12} + 2b'_f \cdot t_f \left(\frac{h - t_f}{2} \right)^2, \\ W' &= \frac{2I'}{h}, \\ S &= S_w + S_f = \frac{t_w \cdot h_{ef}^2}{8} + b'_f \cdot t_f \left(\frac{h - t_f}{2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Переріз на опорі перевіряють на міцність по дотичним напруженням:

$$\tau = \frac{Q_{\max} \cdot S}{I \cdot t_w} \leq R_s \cdot \gamma_c, \quad (2.13)$$

Перевірку загальної стійкості складеної балки не роблять, оскільки на її стислий пояс через 0,6 - 1,2 м обпираються балки настилу, надійно прикріплені (приварені) до нього.

Не слід перевіряти і прогин, так як висота перерізу складеної балки більше мінімальної і регламентований прогин буде забезпечений.

2.4.3. Перевірка місцевих і приведених напружень

У місцях обпирання балок настилу на головну балку (рис. 2.7) визначають місцеві напруги по формулі

$$\sigma_{loc} = \frac{F_b}{t_w \cdot l_{ef}} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (2.14)$$

де $F_b = q \cdot a$ - розрахункове значення навантаження (зосередженої сили), що прикладається до складеної балки; навантаження q приймають із формули (2.6);

a - відстань між балками настилу;

$l_{ef} = b + 2t_f$ - умовна довжина розподілу навантаження;

b - ширина полиці балки настилу;

t_f - товщина полиці складеної балки.

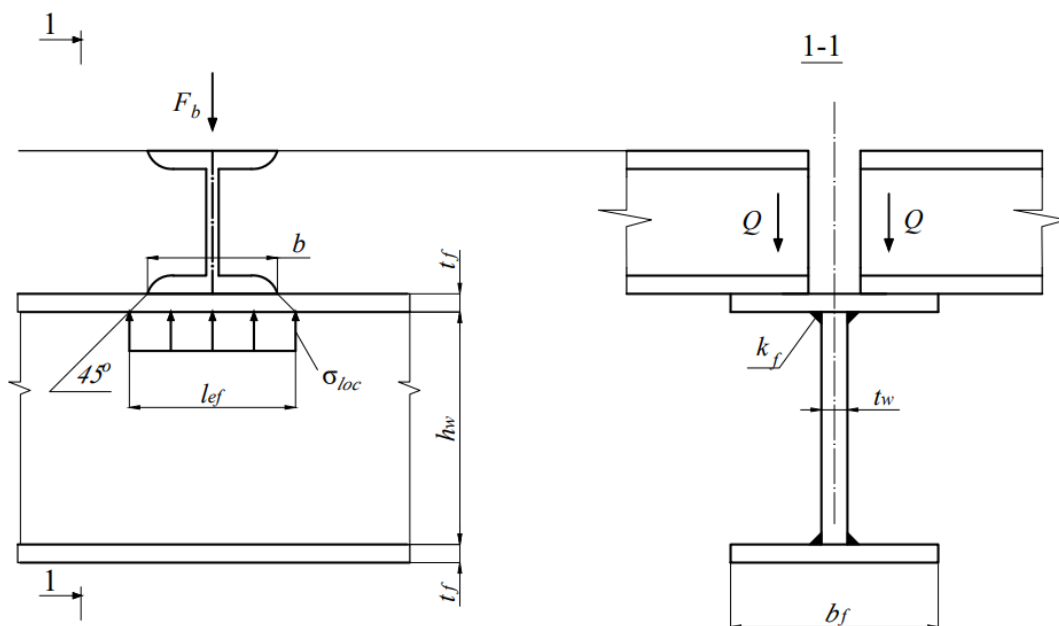


Рис. 2.7. – Схема розподілу зосередженого навантаження на стінку зварної балки при поверховому сполученні балок

Додатково до роздільних перевірок σ , τ і σ_{loc} необхідний розрахунок по приведеним напруженням. Дана перевірка виконується в місці фактичної зміни перерізу складеної балки на рівні поясних швів (рис. 2.5).

Приведені напруження визначають за формулою:

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq 1,15 \cdot R_y \cdot \gamma_c, \quad (2.15)$$

де $\sigma_x = \frac{M_x \cdot h_{ef}}{W' \cdot h}$ - нормальні напруження в стінці;

M_x - приймають з послідовності визначення ширини пояса b_f' ;

W' - за формулою (2.12);

σ_y - напруження, перпендикулярне осі балки, для розглянутих балок

$\sigma_y = \sigma_{loc}$, а σ_{loc} визначають за формулою (2.14);

$\tau_{xy} = \frac{Q_x}{t_w \cdot h_{ef}}$ - середнє дотичне напруження.

У тих випадках, коли балки настилу спираються на головну балку осторонь від місця фактичної зміни перетину пояса, приймають $\sigma_{loc} = 0$.

Коефіцієнт 1,15 у формулі (2.15) враховує можливість розвитку обмежених пластичних деформацій у стінці.

2.4.4. Перевірка місцевої стійкості стінки

Місцеве випинання окремих елементів конструкцій під дією стискаючих нормальних і дотичних напружень називається втратою місцевої стійкості.

Місцеву стійкість стиснутого пояса забезпечують при призначенні розмірів складеної балки.

Місцеву стійкість стінки складеної балки необхідно перевіряти від впливу трьох видів напружень; нормальних (σ), дотичних (τ) і місцевих (σ_{loc}).

Підвищити місцеву стійкість можна встановленням поперечних ребер жорсткості, але не збільшенням її товщини (через великі розміри стінки цей шлях привів би до великої перевитрати матеріалу). Поперечні ребра жорсткості ділять стінку складеної балки на ряд відсіків.

Згідно ДБН [2] стінки балок слід укріплювати поперечними ребрами жорсткості, якщо значення умовної гнучкості стінки

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}} \geq 3,2 \quad (2.16)$$

Відстань між поперечними ребрами жорсткості, що позначається через a_l , не повинно перевищувати $a_l \leq 2h_{ef}$ (рис. 2.8).

Ширину виступаючої частини ребра b_h для парних симетричних поперечних ребер жорсткості (рис. 2.8) визначають в міліметрах за формулою:

$$b_h = \frac{h_{ef}}{30} + 40 \text{ мм}, \quad (2.17)$$

тоді товщина ребра дорівнює:

$$t_s = 2b_h \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}. \quad (2.18)$$

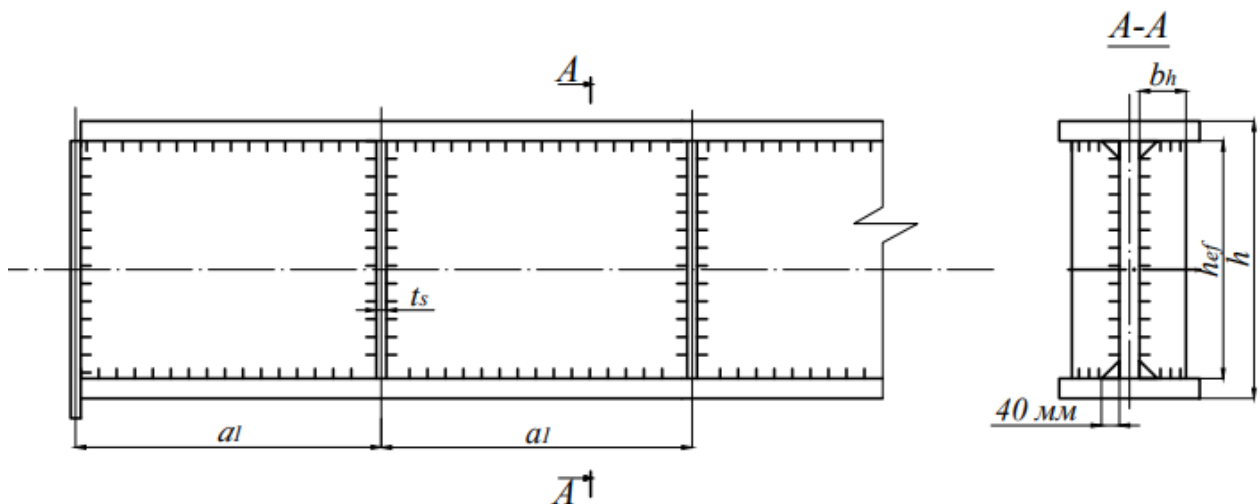


Рис. 2.8. – Перевірка місцевої стійкості стінки

Розміри ребра жорсткості повинні бути узгоджені з сортаментом на смугову сталь (додаток 1).

Балки прольотом більше 9 м за умовами транспортування розбиваються на відправні марки, які потім стикуються при монтажі. Тому при розстановці поперечних ребер жорсткості необхідно стежити, щоб найближче від монтажного стику ребро знаходилося на відстані не менше 500 мм.

Ребра встановлюють на рівній відстані один від одного, але через виконання вище вказаної умови часто доводиться приопорні відсіки призначати довжиною меншою, ніж $2h_{ef}$.

Якщо умовна гнучкість стінки $\bar{\lambda}_w \geq 2,5$, то необхідно крім встановлення поперечних ребер жорсткості виконати перевірку місцевої стійкості за формулою:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq 1 \quad (2.19)$$

де $\sigma = \frac{M_{cp} \cdot h_{ef}}{W_x \cdot h}$ - нормальне напруження в небезпечному перерізі;

$\tau = \frac{Q_{cp}}{t_w \cdot h_{ef}}$ - середнє дотичне напруження в відсіку;

$M_{cp} = \frac{q \cdot x_{cp} \cdot (L - x_{cp})}{2}$ - розрахунковий згинальний момент в "небезпечному"

перерізі;

$Q_{cp} = q \cdot \left(\frac{L}{2} - x_{cp}\right)$ - розрахункова поперечна сила в відсіку;

q - розрахункове (еквівалентне) погонне навантаження;

L - проліт головної балки;

x_{cp} - відстань від лівої опори до небезпечного перерізу.

Перевірку місцевої стійкості стінки виконують у зменшеному перерізі балки у відсіку, де знаходиться місце фактичної зміни перерізу пояса, в приопорних відсіках або в відсіку посередині прольоту балки (рис. 2.9).

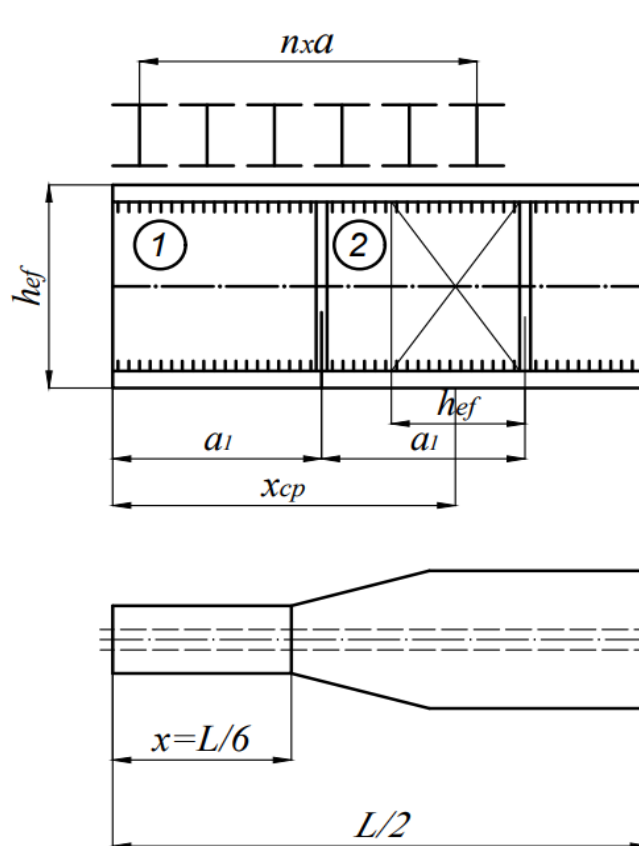


Рис 2.9. – Схема визначення відстані до найбільш небезпечного перерізу

Перевірка місцевої стійкості виконується, як правило, для відсіку, розташованого в середній частині балки.

Для обраного відсіку визначається місце розташування "небезпечного" перерізу. Виконується це в такий спосіб. Від правого ребра жорсткості вліво відкладається відрізок, рівний $h_w = h_{ef}$ або $h_w = \frac{a_1}{2}$. Будується умовний квадрат зі сторонами h_w . Перетин діагоналей цього квадрата і визначає положення "небезпечного" перерізу для відсіку, що перевіряється (рис. 2.9). Потім встановлюється відстань від лівої опори до "небезпечного" перерізу.

Нормальні і дотичні напруження в формулі (2.19) визначають за поясненнями до формули (2.15). Момент і поперечну силу визначають під балкою настилу в перерізі, що відповідає місцю фактичної зміни перерізу пояса (якщо вони збігаються), або найближчому до місця зміни перерізу з боку зменшеної ширини пояса.

Місцеві напруження приймають за формулою (2.14).

Значення критичних напружень σ_{cr} й $\sigma_{loc,cr}$ у формулі (2.19) слід визначати:

а) при $a_1/h_{ef} \leq 0,8$ за формулою

$$\sigma_{cr} = \frac{C_{cr} \cdot R_y}{\bar{\lambda}_w^2}, \quad (2.20)$$

де C_{cr} визначають за табл. 2.7 в залежності від значень коефіцієнта δ :

$$\delta = 0,8 \frac{b'_f}{h_{ef}} \left(\frac{t_f}{t_w} \right)^3,$$

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{C_1 \cdot R_y}{\bar{\lambda}_a^2} \quad (2.21)$$

$$\text{де } \bar{\lambda}_a = \frac{a_1}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}};$$

C_1 – коефіцієнт, що приймається за табл. 2.8 в залежності від відношення a_1/h_{ef} і значень δ ;

б) при $a_1/h_{ef} > 0.8$ й відношенні $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma}$ більше значень, вказаних в табл. 2.9

$$\sigma_{cr} = \frac{C_2 \cdot R_y}{\bar{\lambda}_w^2}, \quad (2.22)$$

де C_2 приймають по табл. 2.10; $\sigma_{loc,cr}$ за формулою (2.21);

в) при $a_1/h_{ef} > 0.8$ й відношенні $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma}$ не більше значень, зазначених в табл. 2.9, приймати σ_{cr} - за формулою (2.20); $\sigma_{loc,cr}$ - за формулою (2.21), але з підстановкою $a_1/2$ замість a_1 у формулу для $\bar{\lambda}_a$ й в табл.2.8.

Критичне дотичне напруження визначають за формулою:

$$\tau_{cr} = 10,3 \left(1 + \frac{0,76}{\mu^2} \right) \cdot \frac{R_s}{\bar{\lambda}_w^2}, \quad (2.23)$$

де μ - відношення більшої сторони відсіку до меншої (практично відношення a_1/h_{ef}).

Таблиця 2.7

δ	$\leq 0,8$	1,0	2,0	4,0	6,0	10,0	30
C_{cr}	30,0	31,5	33,3	34,6	34,8	35,1	35,5

Таблиця 2.8

δ	Значення С, для зварних балок при a_1/h_{ef} , рівному								
	$\leq 0,5$	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
1	11,5	12,4	14,8	18,0	22,1	27,1	32,6	38,9	45,6
2	12,0	13,0	16,1	20,4	25,7	32,1	39,2	46,5	55,7
4	12,3	13,3	16,6	21,6	28,1	36,3	45,2	54,9	65,1
6	12,4	13,5	16,8	22,1	29,1	38,3	48,7	59,4	70,4
10	12,4	13,6	16,9	22,5	30,0	39,7	51,0	63,3	76,5
30	12,5	13,7	17,0	22,9	31,0	41,6	53,8	68,2	83,6

Таблиця 2.9

δ	Граничні значення σ_{loc}/σ при a_1/h_{ef} , рівному							
	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
1	0	0,146	0,183	0,267	0,356	0,445	0,540	0,618
2	0	0,109	0,169	0,277	0,406	0,543	0,652	0,799
4	0	0,072	0,129	0,281	0,479	0,711	0,930	1,132
6	0	0,066	0,127	0,288	0,536	0,874	1,192	1,468
10	0	0,059	0,122	0,296	0,574	1,002	1,539	2,154
30	0	0,047	0,112	0,300	0,633	1,283	2,249	3,939

Таблиця 2.10

a_1/h_{ef} ,	$\leq 0,8$	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
C_2	По табл 2.7, т.е. $C_2 = C_{cr}$	37,0	39,2	45,2	52,8	62,0	72,6	84,7

2.4.5. Розрахунок поясних швів

З'єднання поясів складеної балки зі стінкою здійснюють поясними швами. Це з'єднання запобігає при вигині балки зрушення поясів відносно стінки балки, перетворюючи весь переріз в монолітно працюючий.

При розрахунку поясних швів визначають силу зсуву T , що припадає на 1 см довжини балки на опорі за наступною формулою:

$$T = \frac{Q_{max} \cdot S_f}{I'} \quad (2.24)$$

де Q_{max} - розрахункова поперечна сила (рівна опорній реакції балки);

S_f - статичний момент пояса, який приймається за формулою (2.12).

I' - момент інерції перерізу на опорі, що приймається за формулою (2.12).

Сила зсуву прагне зрізати два кутових шва. Завдання зводиться до визначення катету шва, причому розрахунок виконують по одному з двох перерізів: по металу шва і металу межі сплаву.

Якщо добуток $\beta_f \cdot R_{wf} < \beta_z \cdot R_{wz}$, то розрахунковим буде переріз по металу шва, якщо навпаки, то розрахунковим буде переріз по металу межі сплаву. Менше значення підставляють до формули (2.25).

Коефіцієнти β_f й β_z враховують вид зварювання; при автоматичному зварюванні $\beta_f = 1,1$ й $\beta_z = 1,15$; при ручному зварюванні $\beta_f = 0,7$ й $\beta_z = 1$.

Розрахункові опори кутового шва зрізу R_{wf} (по металу шва) й R_{wz} (по металу межі сплаву) приймають за табл. 2.4. Необхідний катет шва дорівнює:

$$k_f = \frac{T}{2\beta \cdot R_w \cdot \gamma_c \cdot \gamma_w} \quad (2.25)$$

де $\gamma_w = 1$ - коефіцієнт умов роботи зварного з'єднання.

Зважаючи на значні усадкові напруження при зварюванні поясів зі стінкою, поясні шви слід робити суцільними, з однаковим катетом по всій довжині балки. Мінімальні значення катетів поясних швів залежать від товщини найбільш товстого із зварюваних елементів і приймаються за таблицею 2.11.

Таблиця 2.11 – Мінімальні значення катетів поясних швів

Вид зварювання	Мінімальні катети швів k_f (в мм) при товщині більш товстого із зварюваних елементів (в мм)					
	4-5	6-10	11-16	17-22	23-32	33-40
Ручна	4	5	6	7	8	9
Напівавтоматична автоматична	3	4	5	6	7	8

2.4.6. Розрахунок опорного кінця балки

Складені балки спираються на колони збоку. Кінець балки зміцнюють спеціальним опорним ребром (рис. 2.10), вважаючи при цьому, що вся опорна реакція передається з балки на опорний столик колони через це ребро. Опорне ребро прикріплюють до стінки двома зварними кутовими швами (переріз А-А на рис. 2.10), а торець опорного ребра зазвичай зрізають для щільного дотикання цього ребра з опорною поверхнею колони, в результаті розрахунок його виконують, виходячи з роботи на зминання при щільному дотиканні.

Площу опорного ребра визначають за формулою:

$$A_r = \frac{F}{R_p \cdot \gamma_c}, \quad (2.26)$$

де $F = Q_{max}$ - опорна реакція (формула 2.6 и рис. 2.3);

R_p - розрахунковий опір зминання торцевої поверхні (табл. 2.3).

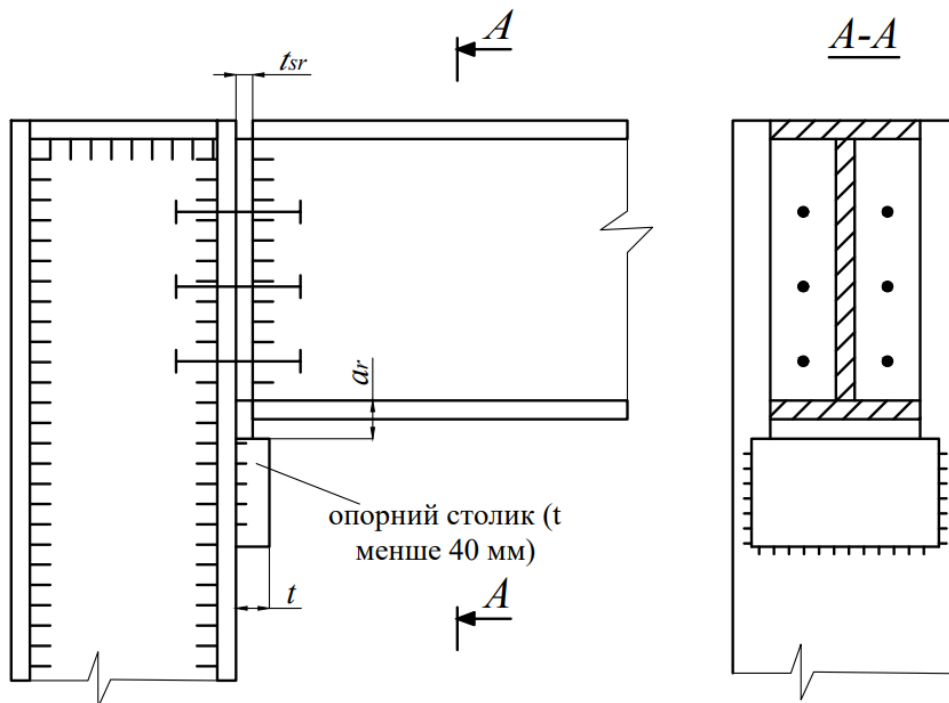


Рис. 2.10. – Рішення вузла 2 (обпирання складеної балки на колону)

Потім, задаючись шириною опорного ребра b_r (зазвичай $b_r = b'_f$), визначають його товщину за формулою:

$$t_{sr} = \frac{A_r}{b'_f} \quad (2.27)$$

При розрахунках за формулами (2.26) і (2.27) необхідно виконати умову $a_r < 1,5t_{sr}$ (рис. 2.10). Зазвичай $a_r = 16 - 20$ мм. Товщина ребра повинна відповідати сортаменту на смугову або широкосмугову сталь.

При розрахунку швів, що з'єднують опорне ребро зі стінкою, визначають необхідний катет шва, причому досить виконати розрахунок тільки по металу шва, так як тут застосовують ручне зварювання, а при ньому розрахунок по металу шва є вирішальним ($\beta_f = 0,7$):

$$k_f = \frac{l}{\beta_f} \sqrt{\frac{F}{170 \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_{wf}}}. \quad (2.28)$$

Болти, що прикріплюють складену балку до колони, встановлюють конструктивно.

2.5 Розрахунок центрально-стиснутої колони

Розрахунку підлягає найбільш завантажена колона в середній частині робочого майданчика.

Розрахункова схема колони – шарнірно опертий по кінцях стрижень (рис. 2.11). Геометрична довжина колони l (див. вихідні дані) приймається від подошви бази колони (заглибленої на 0,3 - 0,4 м) до точки обпирання опорного кінця головної балки на столик колони (рис. 2.2 и 2.11). При шарнірному обпиранні колони в двох напрямках коефіцієнт приведення довжини $\mu_x = \mu_y = 1$ й відповідно розрахункові довжини $l_x = l_y = l$.



Рис. 2.11 – Розрахункова схема колони
Розрахункове значення нормальної стискаючої сили (кН):

$$N = q \cdot L + N_{кол} \quad (2.29)$$

де q - навантаження від балочної клітки в кН/м (дивись формулу 2.6);

L - крок колон уздовж балочної клітки в м;

$N_{кол}$ - власна вага колони, орієнтовно приймається рівною $N_{кол} = l$ (кН).

Підбір перерізу колони з прокатного колонного профілю виконують щодо осі "у-у" (додаток 3) з умови стійкості. Для цього задаються гнучкістю колони $\lambda_y = 90 - 100$ та згідно з додатком 4 знаходять значення коефіцієнта поздовжнього згину φ в залежності від величини розрахункового опору R_y .

Далі визначаються:

- необхідна площа поперечного перерізу колони за формулою:

$$A_{cal} = \frac{N}{R_y \cdot \varphi \cdot \gamma_c} \quad (2.30)$$

де R_y – розрахунковий опір (приймати для фасонної сталі товщиною до 20 мм).

Необхідний радіус інерції поперечного перерізу колони визначаємо за формулою:

$$i_{y,cal} = \frac{l_y}{\lambda_y} \quad (2.31)$$

Знаючи A_{cal} й $i_{y,cal}$ за сортаментом (додаток 3) підбирається двотавровий профіль колонного типу (К) і виписуються фактичні геометричні характеристики його перерізу.

Для перевірки стійкості визначають фактичну гнучкість колони:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} \quad (2.32)$$

Далі знаходиться коефіцієнт φ_y й перевіряється стійкість:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_y \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (2.33)$$

де A и i_y - фактичні площа і радіус інерції підбраного перерізу колони.

При необхідності (перенапруження або значне недонапруження конструкції) підбирається інший відповідний профіль і повторюється перевірка стійкості.

На закінчення перевіряється, чи не перевищує гнучкість колони допустиму величину $\lambda_{пр}$:

$$\lambda_y \leq \lambda_{np} = 180 - 60 \cdot \alpha \quad (2.34)$$

де коефіцієнт α визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{N}{A \cdot \varphi_{min} \cdot R_y \cdot \gamma_c}, \quad (2.35)$$

причому якщо $\alpha < 0,5$, то приймається $\alpha = 0,5$.

У формулах (2.30), (2.33) і (2.35) приймаємо R_y для фасонної сталі з відповідною товщиною полиці.

ВИБІРКА ІЗ СОРТАМЕНТУ

1. Сталь широкосмугова (універсальна)

Ширина листів, мм:	200	210	220	240	250	260	280	300	320			
	340	360	380	400	420	450	480	500	530			
	560	600	630	650	670	700	750	800	850			
Товщина листів, мм:	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22
	25	28	30	32	36	40	мм					

2. Сталь товстолистова

Ширина листів:	1000	1250	1400	1500	...	і так далі через 100 мм						
Товщина листів:	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22
	24	26	28	30		...	мм					

3. Сталь смугова

Ширина листів:	60	63	65	70	80	85	90	95	100	105	110	
	120	125	130	140	150	160	170	180	190	200	мм	
Товщина листів:	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	...
												мм

Позначення:

h – висота балки;

b – ширина полиці;

d – товщина стінки;

t – середня товщина полиці;

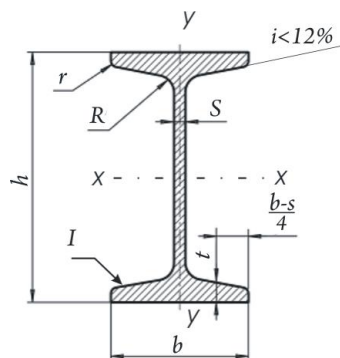
R – радіус внутрішнього закруглення;

i – радіус інерції;

I – момент інерції;

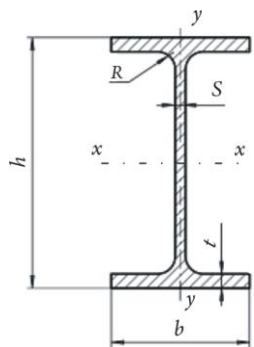
W – момент опору;

S – статичний момент напівперерізу.



Сталь гарячекатана, балки двотаврові

Номер балки	Розміри, мм						Лінійна щільність, кг/м	Площа перерізу, см ²	Довідкові дані для осей						
	h	b	d(S)	t	R	r			x-x			y-y			
									I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	S _x , см ³	I _y , см ⁴	W _y , см ³	i _y , см
10	100	55	4,5	7,2	7	2,5	9,48	12	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3	11,5	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3	13,7	17,4	572	61,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5	7,8	6,5	3,5	15,9	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	8,1	9	3,5	18,4	23,4	1290	143	7,42	83,4	82,6	18,40	1,88
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4	21	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,10	2,07
22	220	110	5,4	8,7	10	4	24	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,60	2,27
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4	27,3	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,50	2,37
27	270	125	6	9,8	11	4,5	31,5	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,50	2,54
30	300	135	6,5	10,2	12	5	36,5	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,90	2,69
33	330	140	7	11,2	13	5	42,2	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,90	2,79
36	360	145	7,5	12,3	14	6	48,6	61,9	13 380	743	14,7	423	516	71,10	2,89
40	400	155	8,3	13	15	6	57	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,10	3,03
45	450	160	9	14,2	16	7	66,5	84,7	27 696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	500	170	10	15,2	17	7	78,5	100	39 727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	550	180	11	16,5	18	7	92,6	118	55 962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	600	190	12	17,8	20	8	108	138	78 806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54



Двотавр сталеві гарячекатані з паралельними гранями полиць

Номер профілю	Лінійна щільність, кг/м	Розміри, мм					Площа перерізу, см ²	Довідкові дані для осей						
		h	b	d	t	R		x-x				y-y		
								I _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	S _x , см ²	I _y , см ⁴	W _y , см ³	i _y , см
колонні двотаври														
20K1	41,5	195	200	6,5	10	13	52,82	3820	392	216	8,50	1334	133	5,03
20K2	46,9	198	200	7	11,5	13	59,70	4422	447	247	8,61	1534	153	5,07
23K1	52,2	227	240	7	10,5	14	66,51	6589	580	318	9,95	2421	202	6,03
23K2	59,5	230	240	8	12	14	75,77	7601	661	365	10,02	2766	231	6,04
26K1	65,2	255	260	8	12	16	83,08	10 300	809	445	11,14	3517	271	6,51
26K2	73,2	258	260	9	13,5	16	93,19	11 700	907	501	11,21	3957	304	6,52
26K3	83,1	262	260	10	15,5	16	105,90	13 360	1035	576	11,32	4544	349	6,55
30K1	84,8	296	300	9	13,5	18	108,00	18 110	1223	672	12,95	6079	405	7,50
30K2	96,3	300	300	10	15,5	18	122,70	20 930	1395	771	13,06	6980	465	7,54
30K3	108,9	304	300	11,5	17,5	18	138,72	23 910	1573	874	13,12	7881	525	7,54
35K1	109,7	343	350	10	15,0	20	139,70	31 610	1843	1010	15,04	10 720	613	8,76
35K2	125,9	348	350	11	17,5	20	160,40	37 090	2132	1173	15,21	12 510	715	8,83
35K3	144,5	353	350	13	20,0	20	184,10	42 970	2435	1351	15,28	14 300	817	8,81
40K1	138,0	393	400	11	16,5	22	175,80	52 400	2664	1457	17,26	17610	880	10
40K2	165,6	400	400	13	20,0	22	210,96	64 140	3207	1767	17,44	21 350	1067	10,06
40K3	202,3	409	400	16	24,5	22	257,80	80 040	3914	2180	17,62	26 150	1307	10,07
40K4	242,2	419	400	19	29,5	22	308,60	98 340	4694	2642	17,85	31 500	1575	10,10
40K5	291,2	431	400	23	35,5	22	371,00	121 570	5642	3217	18,10	37 910	1896	10,11

**Коефіцієнти φ поздовжнього згину центрально-стиснутих елементів при
розрахунковому опорі сталі**

$R_y = 20 \text{ кН/см}^2$

Гнучкість	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	939	936	932	929	926	923	919	916	913	909
40	906	903	899	896	893	889	885	881	877	873
50	869	865	861	856	852	848	844	840	835	831
60	827	823	818	814	809	805	800	796	791	787
70	782	777	772	768	763	758	753	748	744	739
80	734	727	720	713	706	700	693	686	679	672
90	665	658	652	645	639	632	625	619	612	606
100	599	593	587	580	574	568	526	556	459	543
110	537	531	525	520	514	508	502	496	491	485
120	479	474	468	463	457	452	477	441	436	430
130	425	420	415	410	405	401	396	391	386	381
140	376	371	366	362	327	352	347	342	338	333
150	328	324	320	317	313	309	305	301	298	294

$R_y = 24 \text{ кН/см}^2$

Гнучкість	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	931	928	924	920	916	913	909	905	901	898
40	894	890	886	882	878	874	870	865	861	857
50	852	847	843	838	833	829	824	819	814	810
60	805	800	796	790	785	780	774	769	764	759
70	754	747	740	734	727	720	713	706	700	693
80	686	679	671	664	656	649	642	634	627	619
90	612	605	598	591	584	577	570	563	556	549
100	542	536	529	523	516	510	504	497	491	484
110	478	472	466	460	454	449	443	437	431	425
120	419	414	408	403	397	392	386	381	375	370
130	364	359	354	349	344	340	335	330	325	320
140	315	311	307	303	299	296	292	288	284	280
150	276	273	270	266	263	260	257	254	250	247

$R_y = 28 \text{ кН/см}^2$

Гнучкість	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	924	920	916	911	907	903	899	895	891	887
40	883	787	873	869	864	860	856	850	845	840
50	836	831	826	821	816	811	805	800	795	790
60	785	779	773	767	762	755	748	743	736	730
70	724	716	707	699	691	683	674	666	658	649
80	641	633	626	618	611	603	595	588	580	573
90	565	558	551	543	536	529	522	518	507	500
100	493	486	480	473	467	460	453	447	440	434
110	427	421	415	409	403	397	390	384	378	379
120	366	361	355	350	345	340	334	329	324	318
130	313	309	305	301	297	293	288	284	280	276

Продовження додатку 4

$R_y = 32 \text{ кН/см}^2$

Гнучкість	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	917	912	908	903	899	894	890	886	881	878
40	873	868	863	858	853	848	842	837	832	827
50	822	816	811	805	800	794	788	783	777	772
60	766	758	750	742	734	727	729	711	703	695
70	687	679	670	662	653	645	636	628	619	611
80	602	594	586	578	570	562	554	546	538	530
90	522	514	507	499	492	485	478	470	463	455
100	448	441	435	428	421	415	408	401	394	388
110	381	375	369	363	357	351	345	339	333	327
120	321	317	312	308	303	299	294	290	285	281
130	276	272	269	265	262	258	254	251	247	244
140	240	237	234	231	228	226	223	220	217	214
150	211	209	207	204	202	199	197	194	192	189

$R_y = 36 \text{ кН/см}^2$

Гнучкість	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	911	906	901	897	892	887	882	877	873	868
40	863	858	852	847	841	836	831	825	820	814
50	809	803	798	791	785	779	773	767	761	755
60	749	740	730	721	711	702	692	683	673	664
70	654	645	636	628	619	610	601	592	584	575
80	566	558	549	541	533	525	516	508	500	491
90	483	476	468	461	453	446	438	431	423	416
100	408	401	394	387	380	373	366	359	352	345
110	338	333	328	323	318	313	307	302	297	292
120	287	283	279	275	271	267	263	259	255	251
130	247	244	241	237	234	231	228	225	221	218
140	215	212	210	207	205	202	199	197	194	192
150	189	187	185	182	180	178	176	174	171	169

$R_y = 40 \text{ кН/см}^2$





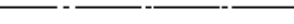
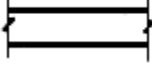
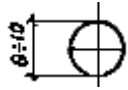
Гнучкість	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	905	900	895	890	885	880	874	869	864	859
40	854	848	842	837	831	825	819	813	808	802
50	796	789	781	774	766	759	751	744	736	729
60	721	711	701	692	682	672	662	652	643	633
70	623	614	605	596	687	578	568	559	550	541
80	532	524	515	507	498	490	481	473	464	456
90	447	439	431	424	416	408	400	392	385	377
100	369	363	356	350	344	338	331	325	319	312
110	306	301	297	292	288	283	278	274	269	265
120	260	256	253	249	245	241	238	234	230	227
130	213	220	217	215	212	209	206	203	201	198
140	195	193	190	188	185	183	181	178	176	173
150	171	169	167	165	163	162	160	158	156	154

Примітка: Значення коефіцієнтів φ в таблицях збільшено в 1000 раз.

Масштаби

Найменування	Масштаби
1. Несучі сталеві конструкції:	
а) монтажні плани й схеми	1:100, 1:200, 1:400
б) перерізи суцільностінчатих і гратчастих елементів конструкцій	1:10, 1:15, 1:20, 1:25 (масштаб 1:10 застосовується для дрібних профілів)
в) схеми гратчастих конструкцій	1:15, 1:20, 1:25
2. Огороджувальні конструкції зі сталі й легких сплавів:	
а) монтажні схеми	1:100, 1:200
б) перерізи елементів	1:1, 1:10

Умовні позначення в тексті й на кресленнях

Найменування	Приклади позначення
<i>Прокатні профілі</i>	
Балка двотаврова	I 36
Двотаври й таври з паралельними гранями полиць:	
нормальні	I 40Б I 20БТ
широкополичні	I 40Ш I 20ШТ
колонні	I 40К I 20КТ
Сталь листова, смугова й широкосмугова (позначення перерізу)	- 200x8
Сталь листова (позначення товщини)	δ 12
<i>Болти</i>	
Болт постійний	
Болт тимчасовий	
Болт постійний високоміцний	
<i>Шви зварних з'єднань</i>	
Шов стиковий з ближньої (видимої) сторони	Заводський Монтажний 
<i>Інші позначення</i>	
Позначення розрізу	
Проекція площини зв'язків на схематичних кресленнях (наприклад, вертикальних зв'язків в плані); огорожі в плані.	
Лінія обриву конструкції	
Маркування вузлів у місця маркування. у чисельнику вказують номер вузла, в знаменнику - номер листа, де зображений вузол	

Оформлення графічної частини

Відправні елементи потрібно зображати так, щоб основна проекція відповідала їх робочому положенню і давала найбільш повне уявлення про їх форму і розміри, а саме: горизонтальні елементи – в горизонтальному положенні, вертикальні – у вертикальному, похилі – в похилому. Вертикальні елементи великої довжини (колони, стійки і т.д.) дозволяється зображати в горизонтальному положенні. При цьому низ елемента слід розташовувати в лівій частині листа.

Специфікація

Специфікація										
Марка елемента	N деталі	К-сть шт.		Переріз	Довжина, мм	Вага, кг			Марка сталі	Примітка
		т	н			однієї деталі, шт.	всіх, шт.	елементу		
				25						
				8						
				8						
				8						
15	10	7,5	7,5	35	20	15	15	12	18	30
185										

Проставлення розмірів

Усі розміри на деталеровочних кресленнях металевих конструкцій вказуються в міліметрах.

Розмірні числа наносять над розмірною лінією якомога ближче до її середини.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кафедра будівництва, геотехніки та геомеханіки

**Розрахункове завдання
з дисципліни «Металеві конструкції»**

РОЗРОБКА СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ БАЛОЧНОЇ КЛІТКИ

Виконав:
ст. гр. [назва групи]
ПІБ

Перевірила:
к.т.н., доц. Іванова А.П.

**Дніпро
НТУ «ДП»
2026**

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Базова

1. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – Київ : Мінбуд України, 2006. – 75 с.
2. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 248 с.
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. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 30 с.(Замість ДБН В.1.2-14-2009)
4. ДСТУ 8540:2015. Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент. – Чинний від 01.07.2016. – Київ : ДП «УкрНТЦ «Енергосталь», 2016. – 14 с.
5. ДСТУ 8768:2018. Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент. – Чинний від 01.01.2019. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 18 с.
(На заміну ГОСТ 26020-83)
6. ДСТУ 9295:2024. Двотаври сталеві зварні. Технічні вимоги та сортамент. – Чинний від 01.04.2025. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2025. – 22 с.6. Металеві конструкції: Підручник / Клименко Ф.Є., Барабаш В. М., Стороженко Л. І. – Львів: Світ, 2002. – 312 с.
7. Білик С. І., Шимановський О. В., Нілов О. О., Лавріненко Л. І., Володимирський В. О. Металеві конструкції. Том 2. Конструкції металевих каркасів промислових будівель: підручник для вищих навчальних закладів. Кам'янець-Подільський: Друкарня «Рута», 2021. – 448 с.
8. Склярів І. О., Тонкачєєв В. Г., Склярєва Т. С. Конструкції будівель і споруд. Металеві конструкції: навч. посіб. Київ: Каравела, 2024. – 174 с.
9. Цюпин Є. І. ВІМ-технології металевих конструкцій: навч. посіб. Київ: Ліра-К, 2024. – 200 с.
10. Металеві конструкції: Підручник/ Під загальною редакцією В.О. Пермякова та О.В. Шимановського. – К.: Видавництво «Сталь», 2008.– 812 с.

Додаткова

1. Методичні рекомендації до виконання курсового проекту з дисципліни «Металеві конструкції» для підготовки бакалаврів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія / Г.П. Іванова, С.М. Гапєєв, Н.В. Хозяйкіна, В.В. Янко, О.В. Халимендик, С.О. Барсукова; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2024. – 38 с.
2. Г. П. Іванова, М. А. Гудзик «Застосування «ЛСТК» – легких сталевих тонкостінних конструкцій у каркасному будівництві» / А. П. Іванова,

Гудзик М.А. // 15-та Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів «Перспективи розвитку будівельних технологій (23.04.2021) – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – С.64 - 68.

<http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/160375>

Навчальне видання

Іванова Ганна Павлівна
Гапєєв Сергій Миколайович
Старушенко Галина Аркадіївна
Чушкіна Ірина Вікторівна
Янко Валентин Вікторович
Олішевська Софія Олегівна

РОЗРОБКА СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ БАЛОЧНОЇ КЛІТКИ

**Методичні рекомендації до виконання розрахункового завдання
з дисципліни «Металеві конструкції»
для здобувачів ступеня бакалавра спеціальності
192 (G19) Будівництво та цивільна інженерія**

Видано в авторській редакції

Електронний ресурс.
Підписано до видання 24.03.2026. Авт. арк. 1,24.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».
49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19.