

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Будівельне виробництво та геодезія»

В авторській редакції

ПРОЄКТУВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ МАШИН

Навчально-методичні рекомендації
до практичних занять

Електронне видання

ДНІПРО
2025

УДК 621.874(076.5)

Б 23

Автор:
Д. О. Банніков

Електронне видання

Рекомендовано ГЗЯОП «Підйомно-транспортні, будівельні та колійні машини»
Протокол № 3 від 23.01.2025 р.

Рекомендовано ГЗЯОП «Експлуатація та ремонт техніки Держспецтрансслужби»
Протокол № 1 від 24.01.2025 р.

Б 23 Банніков, Д. О. Проектування металоконструкцій машин : навчально-методичні рекомендації до практичних занять / Д. О. Банніков ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 64 с.

Навчально-методичні рекомендації призначені для використання студентами всіх форм навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» (G11 Машинобудування) під час практичних занять з дисципліни «Проектування металоконструкцій машин», а також можуть бути корисними під час підготовки випускних кваліфікаційних робіт.

У навчально-методичних рекомендаціях викладено загальну структуру та змістовне наповнення практичних занять відповідно до чинної робочої програми.

Іл. 18. Табл. 10. Бібліогр.: 12 назв.

© Банніков Д. О., 2025

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1	6
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2	11
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3	15
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4	21
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5	25
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6	28
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7	31
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8	34
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 9	38
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 10	41
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 11	43
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 12	46
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 13	49
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 14	52
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 15	56
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 16	60
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	62
ДОДАТОК А. Сортамент листової гарячекатаної сталі	63

ВСТУП

Дисципліна «Проектування металоконструкцій машин» зорієнтована на формування системи вмінь та навичок щодо розробки проектно-конструкторської документації в галузі машинобудування взагалі та машин будівельного та колійного призначення зокрема.

Практичні заняття з дисципліни передбачають ознайомлення із підйомно-транспортними машинами (ПТМ), їх видами, сучасною класифікацією, а також більш детальним ознайомленням із мостовими кранами, як основного різновиду ПТМ [1-3]. На заняттях розглядаються загальні підходи та принципи розрахунку і конструювання основних несучих елементів електричного балкового мостового крану загального призначення разом з вузлом їх з'єднання. До таких елементів відносять головну та кінцеву балки. Кожен з цих конструктивних елементів має бути розрахований та сконструйований окремо, з урахуванням своїх специфічних особливостей. Проте в цілому ці елементи є основою плоскої несучої рами мостового крану, яка працює як єдина система.

Представлений в навчально-методичних рекомендаціях матеріал побудований на базі методу граничних станів. Порівняно із паралельно існуючим методом допустимих напружень, який також є доволі поширеним для проектування різноманітних машин, цей метод є більш прогресивним та точним. Тому він все ширше та частіше використовується для проектування в галузі машинобудування [4].

Також зазначимо, що навчально-методичні вказівки орієнтовані на сучасні стандарти з проектування металоконструкцій [5, 6] та внесеними до них Змінами [7-9]. Всі проектно-конструкторські рішення приймаються на основі новітніх чинних стандартів на сортамент сталевих продукції [10, 11].

Всі розрахунки на практичних заняттях виконують за єдиними вихідними даними, що дозволяє надати представленому матеріалу цілісності та упорядкованості. Також це сприятимемо кращому опануванню та засвоєнню навчального матеріалу.

В якості вихідних даних прийнято:

1. Сталь конструкцій класу С235.
2. Вантажопідйомність крана $Q = 16$ т.
3. Проліт крана $L = 10,5$ м.
4. Швидкість крана $V = 0,75$ м/с.
5. Режим роботи крана 7К.

Для підвищення ефективності опрацювання навчального матеріалу практичних занять необхідно виконати підготовку до них. Вона передбачає самостійне ознайомлення із матеріалом чергового практичного заняття, розгляд його змісту та виявлення незрозумілих місць, стосовно яких на практичному занятті слід отримати роз'яснення у викладача.

Метою навчально-методичних рекомендацій є сприяння в досягненні очікуваних результатів навчання відповідно до робочою програми.

Для досягнення цієї мети на кожному практичному занятті на конкретному прикладі розглядається окрема частина змістовного матеріалу, передбаченого робочою програмою. За необхідності матеріал доповнюється окремими теоретичними викладками та поясненнями. Після кожного практичного заняття наведені Питання для самоконтролю. Вони змістовно пов'язані із тематикою заняття та сприятимуть кращому та глибшому його засвоєнню.

В сукупності такий підхід сприяє досягненню студентом наступних очікуваних результатів навчання відповідно до робочої програми:

- назвати основні фізико-механічні характеристики сталі;
- відтворити послідовність розрахунку основних типів сталевих елементів, а також основних видів їх з'єднань;
- описати основні фізико-механічні характеристики сталі та принципи маркування сталі;
- описати принципи та послідовність визначення навантажень на елементи металоконструкцій;
- описати принципи роботи, розрахунку та конструювання сталевих елементів, а також основних видів їх з'єднань;
- побудувати лінії впливу для балкових систем;
- виконати розрахунок основних несучих елементів машин, а також їх з'єднань між собою;
- виконати конструювання основних несучих елементів машин, а також їх з'єднань між собою. Розробити відповідну проєктну документацію;
- аналізувати роботу та вплив на неї конструктивних змін основних несучих елементів і вузлів машин;
- порівнювати конструктивні варіанти несучих елементів і вузлів машин та обирати найбільш ефективні.

Завдяки такій роботі досягаються очікувані результати навчання I – V рівнів сучасної класифікації Б. Блума, наведені в робочій програмі.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

Тема заняття: *Загальний огляд підйомно-транспортних машин.*

Мета заняття: розглянути основні сучасні види підйомно-транспортних машин, їх призначення та характеристики.

Представлений матеріал поданий відповідно до роботи [1].

Підйомно-транспортні машини (ПТМ) – це машини або пристрої для переміщення вантажів і людей у вертикальній, горизонтальній і похилій площині на відносно невеликій відстані. Вони використовуються, переважно, в якості транспортного ланцюга виробничого процесу промислових і сільсько-господарських підприємств, рідше – як окремі самостійні машини.

Найпростіші машини почали застосовуватися в глибоку давнину. В Єгипті, Ассирії, Вавилоні, Стародавньому Римі та інших країнах для зрошення земель застосовувалися колодязні ворота, «журавлі». Підйомні канати виготовлялися з ліан і волокон рослин. Підйом води здійснювався по похилому жолобу дерев'яними шкребками, прикріпленими до дерев'яних шарнірних ланцюгів. Для підйому важких вантажів використовували важелі, похилі площини, поліспасти, катки. Із глибокої стародавності відомі й машини безперервного транспорту у вигляді ковшових підйомників.

Сучасні ПТМ класифікують за низкою ознак – рис. 1. Вони вирізняються надзвичайною різноманітністю, тому для конкретних завдань і умов завжди необхідно вибрати відповідну машину, зважаючи на її продуктивність, швидкість роботи, схеми завантаження і розвантаження.

Основним вважається поділ всіх машин за функціональним призначенням. При цьому в кожній категорії розрізняють окремі різновиди машин. Вантажопідйомні машини поділяються на прості (блок, ворот, домкрат, лебідка, таль, поліспаст) і складні (кран, автомобіль-вишка, брашпиль, ліфт, маніпулятор, підйомник, тельфер). Транспортувальні машини мають наступні різновиди – конвеєр, багажна карусель, канатна дорога, норія, патерностер, траволатор, елеватор, ескалатор, інші (система паркування автомобілів: автомобільний накопичувач елеваторного типу, багатоярусний автоматичний паркінг). До вантажно-розвантажувальних машини відносяться вагоно- або автоперекидач, навантажувач, річстакер, а до штабелювальних машин – електроштабелери та крани-штабелери. Машини підвісного однорельсового транспорту представлені підвісним конвеєром, підвісним електротягачом, електро-й автовізками. Машини наземного транспорту – це транспортувальник піддонів, тягач, штабелер, електрокар.



Рис. 1. Загальна класифікація ПТМ.

Основні конструктивні особливості ПТМ наведені в табл. 1 – 4.

Серед них варто відмітити, що основною особливістю вантажопідйомних машин є переміщення вантажів та людей у вертикальному або похилому напрямку. Після підйому вантаж може переміщуватися й по горизонталі. Важливою умовою є безпека переміщення за рахунок використання надійних захоплювальних пристроїв (крюки, траверси). Транспортувальні машини відрізняються безперервністю транспортування вантажів та людей.

В цілому в теперішній час виділяють 6 класифікаційних категорій підйомно-транспортних машин (ПТМ) за функціональним призначенням. В кожній з цих категорій налічується від 2 до 15 різновидів машин. Найбільш різноманітною є категорія вантажопідйомних машин, яка вважається основною для сучасного промислового і сільськогосподарського виробництва. По відношенню до класичних транспортних засобів, таких як вантажний автомобіль, залізничний, річковий або повітряний транспорт, вантажопідйомні машини виконують функції оперативного та швидкого їх завантаження і розвантаження.

Вантажопідйомні машини

Ворот	Найпростіша вантажопідйомна машина, що складається з барабана з ручним приводом та канату, що намотується на барабан
Домкрат	Штовхач транспортних засобів або вантажів знизу
Кабестан	Пристрій, що складається з вертикально встановленого вала, на який при обертанні намотується ланцюг або канат, що пересуває вантаж, наприклад якір
Лебідка	Механізм, тягове зусилля якого передається за допомогою каната, ланцюга, троса через барабан від електричного, гідравлічного або ручного приводу. Підвісна лебідка називається талем
Поліспа́ст	Система рухомих і нерухомих блоків для виграшу в силі або швидкості
Кран вантажопідйомний	Підйомна машина для просторового переміщення вантажів, тимчасове зачеплення яких здійснюється із застосуванням захоплювальних пристроїв (магнітні й вакуумні, механічні: крюки, кліщі, петлі через стропи, траверси)
Автомобільна вишка	Оснащений пристроєм для підйому й переміщення робітників автомобіль для ремонту висотних об'єктів і догляду за деревами
Брашпиль	Горизонтальний воріт для підйому якорів і натягу тросів при швартуванні суден
Ліфт	Машина для вертикального або похилого переміщення вантажів на платформах по жорстким напрямним
Кран-маніпулятор	Кран стрілового типу, установлений на шасі автомобіля для його завантаження і розвантаження
Тельфер	Таль, який переміщається з вантажем вздовж балок (двотаврів)
Меблевий ліфт	Мобільна конструкція на пересувній платформі у вигляді автопричепи й підйомника для транспортування меблів через вікна багатоповерхівок по похилих напрямних
Підйомник у формі ножиць	Система важелів і гідравлічних циліндрів, на яку спирається металева платформа для переміщення людей або вантажу у вертикальній площині
Підйомник з кабіною або вагоном	Машина для вертикального або похилого міжрівневого переміщення людей або вантажів у вагонах, кабінах, коморах, ковшах, скіпах, на платформах, візках по жорстким напрямним або рейковому шляху
Підйомний стіл	Машина для підйому вантажів на платформі у вигляді столу

Машини наземного транспорту

Транспортувальник піддонів	Машина для переміщення (захоплення вильчастим захватом, підйом на 15-20 см і транспортування) вантажів 1,2-3,5 т на піддонах (палетах) з ручним приводом і гідродомкратом або електричним приводом від кислотного акумулятора з кріслом, кабіною або без них
Тягач	Самохідна безрейкова наземна машина (автомобіль, трактор, спеціальна машина), призначена для буксирування причепів і напівпричепів, несамохідних або несправних самохідних машин, вантажів на санях і волокушах
Електрокар	Електромобіль спрощеної конструкції з приводом від акумулятора

Таблиця 3

Транспортувальні машини

Конвеєр	Машина безперервного транспорту для переміщення сипких, навалочних або штучних вантажів
Ковшовий елеватор	Вертикальний стрічковий (або цепний) конвеєр з ківшами, що переміщуються у прямокутній трубі
Багажна карусель	Круговий стрічковий конвеєр, що складається з поворотної кільцевої стрічки, натяжного й приводного барабанів та опорних роликів для транспортування багажу в аеропортах
Канатна дорога	Машина для транспортування кабін, крісел, вагонів, ковшів у підвішеному на несучому канаті стані за допомогою тягового каната
Норія	Машина для підйому рідин (підливне водяне колесо) або сипких матеріалів у вертикальному напрямку
Патерностер	Пасажирський ліфт з кабінами без дверей, що постійно рухається
Ескалатор	Підйомно-транспортна машина у вигляді похилих сходів зі ступенями, що рухаються та прикріплені до замкненого ланцюга
Траволатор, рухомий тротуар	Рухома безступінчаста доріжка для прискорення або полегшення переміщення пішоходів
Автонакопичувач	Паркувальна система роторного (карусельного) типу для довготермінового зберігання автомобілів на несучих платформах
Багатоярусний автоматичний паркінг	Багаторівневий паркінг металевої або бетонної конструкції з паркуванням автомобілів в автоматичному режимі без людини

Таблиця 4

Вантажно-розвантажувальні машини

Вагоноперекидач	Спеціальна споруда для механізованого розвантаження вагонів з насипними й навалочними вантажами (руда, вугілля, зерно)
Вилковий навантажувач	Призначений для підняття, транспортування, завантаження, розвантаження, штабелювання вантажів за допомогою вил
Вилковий навантажувач з противагою	Вид спеціального складського підлогового транспорту з противагою, призначений для підняття, переміщення, розвантаження, навантаження, складування (штабелювання) різних вантажів за допомогою вил або інших робочих пристосувань (начіпного обладнання)
Роторний навантажувач	Навантажувач з робочою частиною у формі роторного колеса, до якого жорстко прикріплені ковші, а саме колесо закріплене на кінці стріли, що є рамою стрічкового конвеєра
Ковшовий навантажувач	Вид навантажувача, у якому робочим органом є ківш на стрілі, наповнення якого проводиться під час руху машини, у сполученні з поворотом або підйомом самого ковша
Річтрак	Вдосконалена конструкція електричного штабелера для штабелювання висотою до 12 м і вантажопідйомністю до 2,5 т
Ричстакер	Навантажувач з двигуном внутрішнього згорання для роботи с контейнерами (захоплює по всій довжині й підіймає контейнер з переміщенням на нове місце)

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що таке підйомно-транспортні машини?
2. Коли історично почали використовуватись перші підйомно-транспортні машини?
3. За якою основною ознакою класифікують підйомно-транспортні машини?
4. Які категорії підйомно-транспортних машин налічують на тепер?
5. Які виділяють основні різновиди вантажопідйомних машин?
6. Які виділяють основні різновиди транспортувальних машин?
7. Які виділяють основні різновиди вантажно-розвантажувальних машин?
8. Які виділяють основні різновиди штабелювальних машин?
9. Які виділяють основні різновиди машин підвісного однорейкового транспорту?
10. Які виділяють основні різновиди машин наземного транспорту?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

Тема заняття: *Класифікація мостових кранів. Групи режимів роботи мостових кранів.*

Мета заняття: розглянути основні види мостових кранів та їх класифікацію, а також їх режими роботи.

Мостові крани в теперішній час є основним видом підйомно-транспортних машин цехів промислових підприємств, відкритих кранових естакад, складських господарств та інших об'єктів, на яких вони виконують різноманітні технологічні операції по переміщенню вантажів.

Мостові крани поділяють на:

1) крани з ручним приводом (кран-балки) – рис. 2. Вони досить прості і в конструктивному відношенні складаються із горизонтальної балки двотаврового або коробчастого перерізу. Мають вантажопідйомність до 20 т і проліт до 17 м;

2) електричні мостові крани загального призначення. Мають вантажопідйомність до 600 т і проліт до 42 м. такі крани поділяються на:

а) двобалкові (відкритого типу) – рис. 3;

б) чотирьохплощинні (закритого типу) – рис. 4.

Конструктивно в двобалкових кранах балки мають форму коробчастого перерізу, а в чотирьохплощинних кранах головні балки замінено фермами, які зв'язані між собою в горизонтальній площині.



Рис. 2. Загальний вигляд кран-балки.
[<https://kzpto.com.ua/kran-balka-opornaya>]



Рис. 3. Загальний вигляд двобалкового мостового крана.

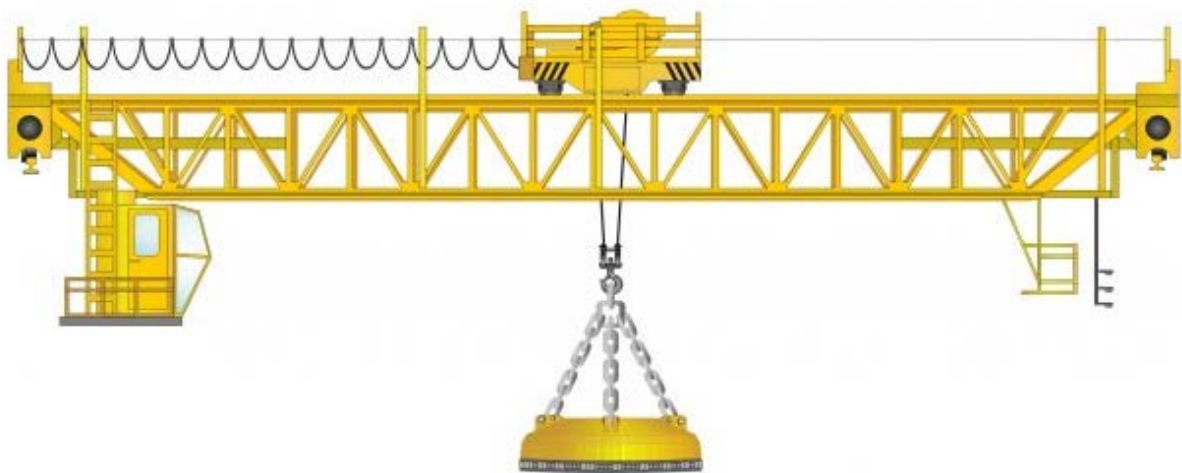


Рис. 4. Схема чотирьохплощинного мостового крана.
[<https://kzpto.com.ua/kran-balka-opornaya>]

Основними перевагами двобалкових кранів є простота конструкції, невелика вартість, зручність в експлуатації та обслуговуванні. Основними недоліками – занадто висока маса, можливість перекосів моста крана під час експлуатації, що підвищує його знос.

Основними перевагами чотирьохплощинних кранів є невисока маса та висока просторова жорсткість. Основними недоліками – висока трудомісткість у виготовленні, наявність місць накопичення пилу та бруду, що знижує довговічність елементів конструкції.

За сукупністю переваг та недоліків найбільш поширеним типом на сьогоднішній день є двобалковий мостовий кран. Він складається із двох основних частин – моста і візка.

Міст крана являє собою металеву конструкцію, яка опирається на ходові колеса, і рухається за допомогою механізму пересування крана. При цьому міст крану переміщується в горизонтальному напрямку вдовж виробничого цеху по рейкам, розташованим на підкранових балках, які опираються на колони. Сам міст являє собою жорстку горизонтальну раму, яка складається з парних головних і кінцевих балок. В кінцевих балках встановлюють ходові колеса крана, які передають власну вагу міста і вагу візка крана з вантажем на підкранові рейки. На консольних ділянках однієї головної балки крана монтується площадки обслуговування і механізм пересування крана, на іншій – тролей, які підводять електричний струм до керуючих механізмів.

Візок крана складається із власної рами невеликих розмірів, яка опирається на власні ходові колеса. Вони рухаються по рейках вздовж самих балок крану. Також до складу візка входять механізм підйому і пересування.

Всі три механізми мостового крана – механізм підйому, механізм пересування візка і механізм пересування мосту – мають самостійні двигуни та приводяться в дію незалежно один від одного. В сучасних мостових кранах для цього використовується електричний струм.

Керування механізмами крана частіше за все здійснюється з кабіни кранівника, яка кріпиться до однієї з мостових балок та в залежності від умов роботи крана виконується відкритою або закритою. Останнім часом почало використовуватись дистанційне керування механізмами крана з виносного наземного пульта.

В залежності від характеру роботи мостового крану встановлюють його режими роботи. Відповідно до додатку Г ДБН В.1.2-2:2006 [6] виділяють 8 груп режимів роботи і позначають від 1К до 8К. Іноді в фаховій літературі використовується стара система позначення режимів роботи, яка співвідноситься з новою наступним чином:

1К – 3К – легкий режим роботи;

4К – 6К – середній режим роботи;

7К – важкий режим роботи;

8К – дуже важкий режим роботи (особливий).

Режим роботи встановлюється в залежності від тривалості використання крана на протязі доби, яка кількісно оцінюється тривалістю включення механізмів крану (ТВ).

Так, легкий режим роботи характеризується ТВ до 15 %, середній режим роботи ТВ = 15-40 %, важкий режим роботи ТВ = 40-80 % і дуже важкий режим роботи ТВ = 80-90 %.

Класифікація кранів та їх умови використання в залежності від режимів роботи наведені в табл. 5.

Режими роботи мостових кранів

Крани	Умови використання	Групи режимів роботи
Ручні усіх видів	Будь-які	1К-3К
3 привідними підвісними талями, у тому числі з навісними захватами	Ремонтні і перевантажувальні роботи обмеженої інтенсивності	
3 лебідочними вантажними візками, у тому числі з навісними захватами	Машинні зали електростанцій, монтажні роботи, перевантажувальні роботи обмеженої інтенсивності	
3 лебідочними вантажними візками, у тому числі з навісними захватами	Перевантажувальні роботи середньої інтенсивності, технологічні роботи в механічних цехах, склади готових виробів підприємств будівельних матеріалів, склади металозбуту	4К-6К
3 грейферами двоканатного типу, магнітно-грейферні	Змішані склади, робота з різноманітними вантажами	
Магнітні	Склади напівфабрикатів, робота з різноманітними вантажами	
Гартівні, кувальні, штирбові, ливарні	Цехи металургійних підприємств	7К
3 грейферами двоканатного типу, магнітно-грейферні	Склади насипних вантажів і металобрухту з однорідними вантажами (при роботі в одну чи дві зміни)	
3 лебідочними вантажними візками, у тому числі з навісними захватами	Технологічні крани при цілодобовій роботі	
Траверсні, мульдогрейферні, мульдозавальні, для роздягання зливків, копрові, вагранкові, колодязні	Цехи металургійних підприємств	8К
Магнітні	Цехи і склади металургійних підприємств, великі металобазы з однорідними вантажами	
3 грейферами двоканатного типу, магнітно-грейферні	Склади насипних вантажів і металобрухту з однорідними вантажами (при цілодобовій роботі)	

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. На яких об'єктах використовуються в теперішній час мостові крани?
2. На які види поділяють мостові крани?
3. Які переваги і недоліки двобалкових мостових кранів?
4. Які переваги і недоліки чотирьохплощинних мостових кранів?
5. Який тип мостового крану є найпоширенішим на тепер і чому?
6. З яких елементів складається конструкція моста мостового крану?
7. Що собою конструктивно являє візок мостового крану?
8. Які механізми входять до складу мостового крану та які їх призначення?
9. Які режими роботи та їх групи виділяють для мостових кранів?
10. За яким параметром кількісно розрізняють режими роботи мостових кранів?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

Тема заняття: *Визначення характеристик сталі та параметрів мостового крану.*

Мета заняття: розглянути алгоритм визначення основних розрахункових характеристик сталі, а також принципи визначення характеристик мостового крану.

Перед початком розрахунку конструктивних елементів мостового крану необхідно визначити низку розрахункових параметрів, які будуть використовуватись надалі. До таких параметрів відносять розрахункові характеристики заданої сталі та характеристики самого крану.

До основних розрахункових характеристик сталі відносять розрахунковий опір і модуль пружності.

Розрахунковий опір сталі з навчальною метою визначають за табл. Г.2 ДБН В.2.6-198:2014 [12] – табл. 6 – в залежності від заданого класу сталі. При цьому приймають найменше значення з усіх наявних в межах заданого класу міцності сталі. Наприклад, для заданого за вихідними даними класу міцності сталі С235 слід приймати значення для листового прокату – $R_y = 190 \text{ МПа} = 19 \text{ кН/см}^2$.

Модуль пружності сталі визначають за табл. Б.1 ДБН В.2.6-198:2014 [5]. Він є однаковим для всіх сталей незалежно від їх класу міцності – $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа} = 20600 \text{ кН/см}^2$.

Таблиця 6

Характеристичні і розрахункові опори сталі при розтягу, стиску та згині

Клас міцності прокату сталі	Товщина прокату ¹⁾ , мм	Характеристичний опір ²⁾ , Н/мм ² , прокату				Розрахунковий опір ³⁾ , Н/мм ² , прокату			
		листового, широкосмугового, універсального		фасонного		листового, широкосмугового, універсального		фасонного	
		R_{yn}	R_{tm}	R_{yn}	R_{tm}	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

Продовження таблиці 6

C275	від 2 до 10	275	380	275	390	270	370	270	380
	понад 10 до 20	265	370	275	380	260	360	270	370
C285	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
C295	до 100	295	430	295	430	285	420	285	420
C325	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	–	–
C345	від 2 до 10	345	490	345	490	335	480	335	480
	понад 10 до 20	325	470	325	470	315	460	315	460
	понад 20 до 40	305	460	305	460	300	450	300	450
C345К	від 4 до 10	345	470	345	470	335	460	335	460
C355	від 8 до 50	355	450	–	–	350	440	–	–
C375	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
C390	від 4 до 50	390	540	–	–	380	530	–	–
C390К	від 4 до 30	390	540	–	–	380	530	–	–
C420	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	–	–
C440	від 4 до 30	440	590	–	–	430	575	–	–
	понад 30 до 50	410	570	–	–	400	555	–	–
C460	від 4 до 16	460	570	–	–	445	555	–	–
	від 16 до 40	440	560	–	–	430	545	–	–
	від 40 до 63	430	560	–	–	420	545	–	–
	від 63 до 80	410	540	–	–	400	530	–	–
C490	від 8 до 50	490	590	–	–	475	575	–	–
C500	від 3 до 50	500	590-	–	–	485	575-	–	–
	від 50 до 100	480	770	–	–	465	750	–	–
C590	від 10 до 36	590	685	–	–	540	617	–	–
C590К	від 10 до 40	590	685	–	–	540	617	–	–
C620	від 3 до 50	620	700-	–	–	600	680-	–	–
	від 50 до 100	580	890	–	–	565	865	–	–

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 С590; С590К враховано $\gamma_m = 1,1$.

Примітка 1. Розрахункові опори прокату конкретних марок сталей, які наведені у таблиці Г.5, слід приймати з урахуванням коефіцієнта надійності за матеріалом γ_m , який визначається згідно з таблицею 7.2.

Примітка 2. Розрахункові опори R_{yw} стінок гарячекатаних двотаврів і швелерів допускається збільшувати на 10% порівняно до R_y .

Основні характеристики двобалкових мостових кранів з навчальною метою наведені в табл. 7.

Таблиця 7

Характеристики двобалкових електричних мостових кранів вантажопідйомністю 5 – 50 т

Вантажопідйомність крану Q , т	Проліт крану L , м	Геометричні розміри крану, мм			Геометричні розміри візка, мм		Маса візка $G_0^{віз}$, т
		ширина B	база K	мінімальне наближення крюка a_{min}	ширина колеї T	база P	
5	10,5	4700	3700	1100	1400	1000	2,0
	16,5	4700	3700				
	22,5	4700	3700				
	28,5	6000	5000				
	34,5	6600	5600				
8	10,5	5400	4400	1150	1600	1100	2,2
	16,5	5400	4400				
	22,5	5400	4400				
	28,5	6000	5000				
	34,5	6600	5600				
10	10,5	5400	4400	1200	2000	1300	2,4
	16,5	5400	4400				
	22,5	5400	4400				
	28,5	6000	5000				
	34,5	6600	5600				
12,5	10,5	5500	4400	1250	2000	2000	3,0
	16,5	5500	4400				
	22,5	5500	4400				
	28,5	6100	5000				
	34,5	6700	5600				

Вантажопідйомність крану Q , т	Проліт крану L , м	Геометричні розміри крану, мм			Геометричні розміри візка, мм		Маса візка $G_0^{віз}$, т
		ширина B	база K	мінімальне наближення крюка a_{min}	ширина колеї T	база P	
16	10,5	5600	4400	1300	2000	2400	3,7
	16,5	5600	4400				
	22,5	5600	4400				
	28,5	6200	5000				
	34,5	6800	5600				
16/3,2	10,5	5600	4400	1300	2000	2400	4,7
	16,5	5600	4400				
	22,5	5600	4400				
	28,5	6200	5000				
	34,5	6800	5600				
20/5	10,5	5600	4400	1400	2000	2400	6,3
	16,5	5600	4400				
	22,5	5600	4400				
	28,5	6200	5000				
	34,5	6800	5600				
32/5	10,5	6300	5100	1600	2500	3200	8,7
	16,5	6300	5100				
	22,5	6300	5100				
	28,5	6300	5100				
	34,5	6800	5600				
50/12,5	10,5	6860	5600	1800	2500	3200	13,5
	16,5	6860	5600				
	22,5	6860	5600				
	28,5	6860	5600				
	34,5	6860	5600				

Як приклад визначимо характеристики мостового крана вантажопідйомністю 16 т та прольотом 10,5 м за прийнятими вихідними даними:

- ширина крана $B = 5600$ мм;
- база крана $K = 4400$ мм;
- мінімальне наближення крюка $a_{min} = 1300$ мм;
- ширина колеї візка $T = 2000$ мм;
- база візка $P = 2400$ мм;
- вага візка $G_0^{вз} = 3,7$ т.

Розташування кабіни кранівника приймають на відстані 2000÷3000 мм від осі підкранової рейки. В нашому випадку приймемо $l = 3000$ мм.

Далі відповідно до вихідних даних **ескізно** зображується схема мостового крана із визначеними розмірами, як наведено на рис. 5.

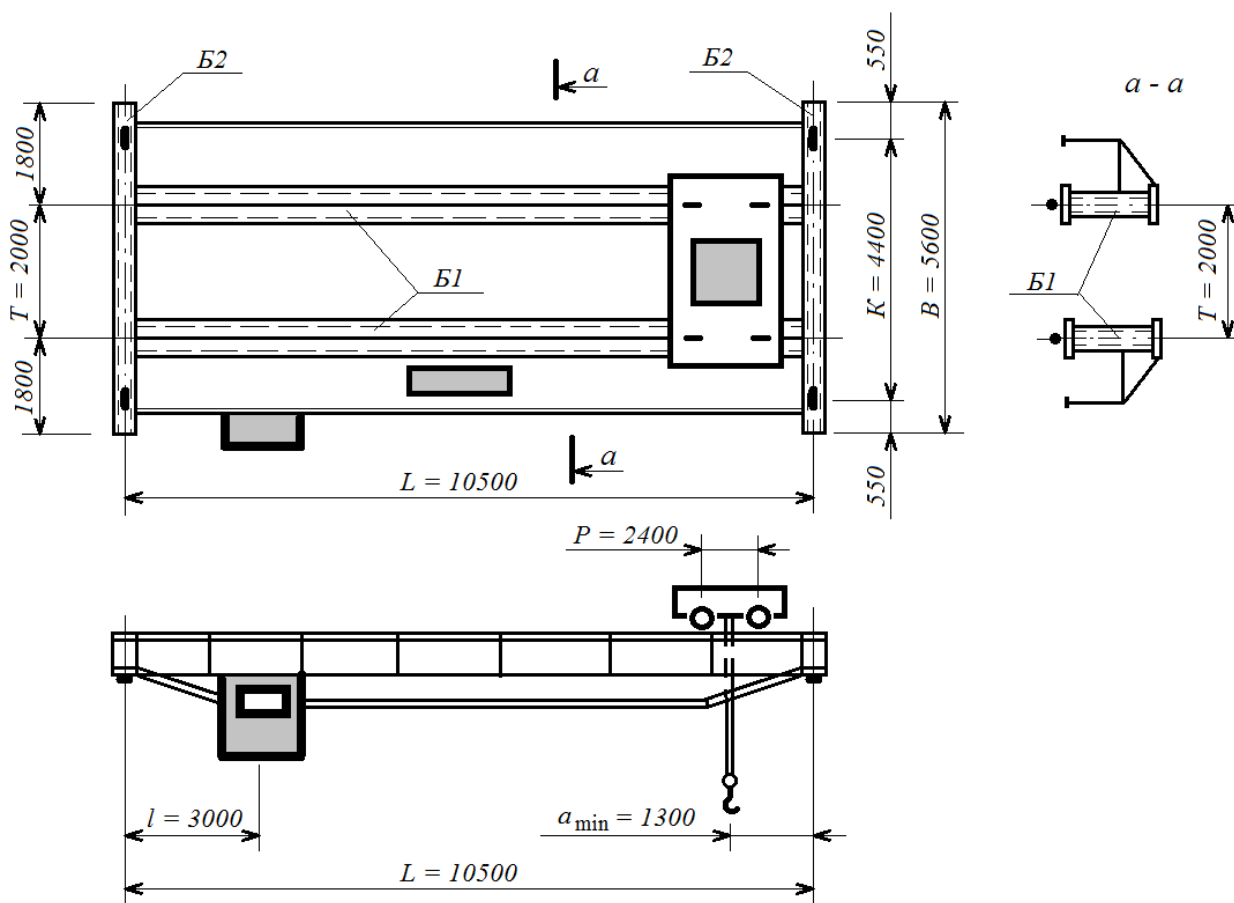


Рис. 5. Ескізне зображення мостового крана.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які характеристики відносяться до основних розрахункових характеристик сталі?
2. Як визначається розрахунковий опір сталі?
3. Як визначається модуль пружності сталі?
4. Які основні характеристики у двобалкових електричних мостових кранів вантажопідйомністю 5-50 т?
5. Як визначаються основні характеристики двобалкових електричних мостових кранів вантажопідйомністю 5-50 т?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

Тема заняття: **Визначення вертикальних навантажень на мостовий кран.**

Мета заняття: розглянути принципи і алгоритм визначення вертикальних навантажень на мостовий кран.

Для визначення величин будь-яких навантажень спочатку необхідно визначити їх **характеристичні значення**. Для мостових кранів характеристичні значення навантажень викликаються власною вагою елементів та обладнання крану у стані спокою і здебільшого приймаються за досвідом проектування.

Для двобалкового мостового крану необхідно визначити характеристичні значення наступних навантажень.

1) Власна вага головної балки разом із обслуговуючою площадкою (половина моста крана) $G_0^{z\delta}$ визначається за графіком рис. 6. Значення наведені для режимів роботи 4К-6К. Для режимів роботи 1К-3К вагу необхідно зменшити на 10 %, а для режимів роботи 7К, 8К – збільшити на 10 %.

Послідовність визначення ваги $G_0^{z\delta}$ показана червоними стрілками – для заданого прольоту крана проводиться вертикальна лінія до перетину із графіком вантажопідйомності і далі горизонтальна лінія визначає вагу.

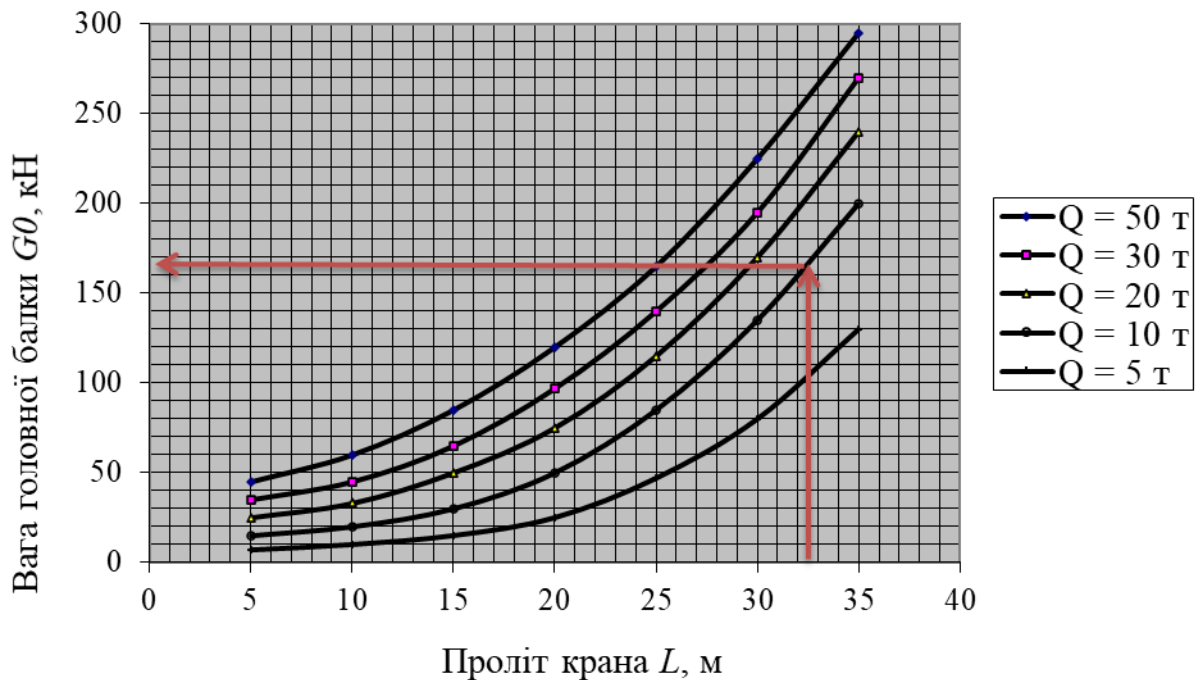


Рис. 6. Характеристичне значення власної ваги половини моста крана (для режимів роботи крана 4К-6К)

Наприклад, для прольоту крана $L = 10,5$ м і вантажопідйомності $Q = 16$ т за графіком $G_0^{гб} = 25$ кН. Враховуючи режим роботи 7К збільшимо на 10 % це значення: $G_0^{зб} = 1,1 \cdot 25 = 27,5$ кН.

З урахуванням довжини головної балки: $q_0^{зб} = \frac{G_0^{зб}}{L} = \frac{27,5}{10,5} = 2,62$ кН/м.

2) Власна вага трансмісійного вала $q_0^{ме}$ визначається за табл. 8.

Таблиця 8

Вага елементів механізму пересування мостового крана

Вантажопідйомність крана Q , т	Вага трансмісійного валу $q_0^{ме}$, кН/м	Вага центрального вузла керування крана $G_0^{уе}$, кН
5 – 16	1,0	9
20 – 32	1,5	12
50	2,0	20

Наприклад, для вантажопідйомності крана $Q = 16$ т за таблицею приймемо $q_0^{ме} = 1,0$ кН/м.

3) Власна вага центрального вузла керування крана $G_0^{уе}$ також визначається за табл. 8.

Наприклад, для вантажопідйомності крана $Q = 16$ т за таблицею приймемо $G_0^{уе} = 9$ кН.

4) Власна вага кабіни керування краном з урахуванням ваги електрообладнання $G_0^{каб}$ приймається довільно в межах $15 \div 20$ кН.

Наприклад, приймемо $G_0^{каб} = 15$ кН, оскільки кран має невеликий проліт.

5) Власна вага візка $G_0^{віз}$ приймається за табл. 7.

Наприклад, для вантажопідйомності крану $Q = 16$ т приймаємо $G_0^{віз} = 3,7$ т.

6) Власна вага кінцевої балки $G_0^{кб}$ приймається в межах $10 \div 20$ кН.

Наприклад, приймемо $G_0^{кб} = 10$ кН, оскільки кран має невеликий проліт.

З урахуванням довжини кінцевої балки: $q_0^{кб} = \frac{G_0^{кб}}{B} = \frac{10}{5,6} = 1,79$ кН/м.

Для проведення розрахунків необхідно визначити розрахункові значення навантажень.

Вертикальні навантаження обумовлені дією власної ваги на елементи мостового крана. При його поздовжньому русі по підкранових коліях внаслідок ударів на стиках рейок виникають додаткові динамічні добавки. Їх розрахункові значення визначаються за виразами (1) і (2)

$$q_i^v = \gamma_f \cdot q_0^i \cdot k_{\partial e}, \quad (1)$$

$$F_i^v = \gamma_f \cdot G_0^i \cdot k_{\partial e}, \quad (2)$$

де γ_f – коефіцієнт надійності за граничним (γ_{fm}) та експлуатаційним (γ_{fe}) значеннями навантажень. Для навантажень від власної ваги елементів приймаються за ДБН В.1.2-2:2006 [6] і дорівнюють $\gamma_{fm} = 1,05$ і $\gamma_{fe} = 1,0$;

$k_{\partial e}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки приймається за табл. 9.

Таблиця 9

Коефіцієнт вертикальної динаміки $k_{\partial e}$ мостового крана

Швидкість крана V , м/с	Значення коефіцієнту $k_{\partial e}$
до 0,50	1,0
0,50 – 1,00	1,1
більше 1,00	1,2

Наприклад, прийемо $k_{\partial e} = 1,1$ для швидкості пересування крана $V = 0,75$ м/с.

Тоді розрахункові значення вертикальних навантажень будуть дорівнювати:

1) Навантаження від власної ваги головної балки

$$q_{1m}^v = \gamma_{fm} \cdot (q_0^{z\delta} + q_0^{m\delta}) \cdot k_{\partial e} = 1,05 \cdot (2,62 + 1,0) \cdot 1,1 = 4,18 \text{ кН/м};$$

$$q_{1e}^v = \gamma_{fe} \cdot (q_0^{z\delta} + q_0^{m\delta}) \cdot k_{\partial e} = 1,0 \cdot (2,62 + 1,0) \cdot 1,1 = 3,98 \text{ кН/м};$$

2) Навантаження від центрального вузла керування крана

$$F_{1m}^v = \gamma_{fm} \cdot G_0^{ye} \cdot k_{\partial e} = 1,05 \cdot 9 \cdot 1,1 = 10,40 \text{ кН};$$

$$F_{1e}^v = \gamma_{fe} \cdot G_0^{ye} \cdot k_{\partial e} = 1,0 \cdot 9 \cdot 1,1 = 9,90 \text{ кН}.$$

3) Навантаження від кабіни керування краном

$$F_{2m}^v = \gamma_{fm} \cdot G_0^{kab} \cdot k_{\partial e} = 1,05 \cdot 15 \cdot 1,1 = 17,33 \text{ кН};$$

$$F_{2e}^v = \gamma_{fe} \cdot G_0^{kab} \cdot k_{\partial e} = 1,0 \cdot 15 \cdot 1,1 = 16,50 \text{ кН}.$$

4) Навантаження на одно з чотирьох коліс візка від ваги візка з вантажем

$$F_{3m}^v = (\gamma_{fm} \cdot G_0^{eiz} + K_Q \cdot Q) \cdot k_{\partial e} \cdot \frac{1}{4} \cdot g = (1,05 \cdot 3,7 + 1,40 \cdot 16) \cdot 1,1 \cdot \frac{1}{4} \cdot 9,81 = 70,91$$

кН;

$$F_{3e}^v = (\gamma_{fe} \cdot G_0^{eiz} + \gamma_{fe} \cdot Q) \cdot k_{\partial e} \cdot \frac{1}{4} \cdot g = (1,0 \cdot 3,7 + 1,0 \cdot 16) \cdot 1,1 \cdot \frac{1}{4} \cdot 9,81 = 53,15$$

кН,

де K_Q – коефіцієнт перевантаження, який приймається за табл. 10.

Наприклад, $K_Q = 1,40$ для вантажопідйомності крана $Q = 16$ т і режиму роботи крана 7К;

g – прискорення вільного падіння $g = 9,81$ м/с².

Таблиця 10

Коефіцієнт перевантаження K_Q мостового крана

Вантажопідйомність крана Q , т	Режим роботи крана			
	1К, 2К	3К, 4К	5К, 6К	7К, 8К
5; 8	1,15	1,25	1,35	1,50
10; 12,5	1,10	1,20	1,25	1,50
16; 20	1,10	1,15	1,20	1,40
32; 50	1,10	1,10	1,15	1,30

5) Навантаження від власної ваги кінцевої балки

$$q_{2m}^v = \gamma_{fm} \cdot q_0^{кб} \cdot k_{де} = 1,05 \cdot 1,79 \cdot 1,1 = 2,07 \text{кН/м};$$

$$q_{2e}^v = \gamma_{fe} \cdot q_0^{кб} \cdot k_{де} = 1,0 \cdot 1,79 \cdot 1,1 = 1,97 \text{кН/м}.$$

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Для чого необхідні характеристичні значення навантажень?
2. Які вертикальні навантаження діють на двобалковий мостовий кран?
3. Як визначаються характеристичні значення вертикальних навантажень двобалкового мостового крану?
4. Для чого потрібні розрахункові значення навантажень?
5. Як визначаються розрахункові значення вертикальних навантажень двобалкового мостового крану?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

Тема заняття: **Визначення горизонтальних навантажень на мостовий кран і складання сполучень навантажень.**

Мета заняття: розглянути принципи і алгоритм визначення горизонтальних навантажень на мостовий кран, а також складання розрахункових сполучень навантажень на мостовий кран.

Поздовжні навантаження виникають при пуску або гальмуванні мостового крану та діють вздовж кранових рейок. По відношенню до моста крана такі навантаження спрямовані поперек головних балок, тобто ці навантаження призводять до виникнення поперечних зусиль в головних балках.

Розрахункові значення поздовжніх навантажень визначаються за виразами (3) і (4)

$$q_{im}^g = k \cdot q_{im}^v \cdot a, \quad (3)$$

$$F_{im}^g = k \cdot F_{im}^v \cdot a, \quad (4)$$

де k – коефіцієнт переходу від вертикальних до поздовжніх інерційних навантажень. Приймається для жорстко прикріплених мас $k = 0,15$ і для мас на гнучкому підвісі $k = 0,1$.

a – прискорення пуску та гальмування. Приймається за довідковими даними та даними натурних експериментів в долях від прискорення вільного падіння $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. В більшості випадків вважають $a = 0,1 \cdot g$.

Для подальших обчислень потрібні тільки розрахункові граничні значення поздовжніх навантажень. Обчислимо їх, спираючись на попередні розрахунки для заданих за вихідними даними параметрів

1) Навантаження від власної ваги головної балки

$$q_{1m}^g = 0,15 \cdot q_{1m}^v \cdot 0,1 \cdot g = 0,15 \cdot 4,18 \cdot 0,1 \cdot 9,81 = 0,62 \text{ кН/м};$$

2) Навантаження від центрального вузла керування крана

$$F_{1m}^g = 0,15 \cdot F_{1m}^v \cdot 0,1 \cdot g = 0,15 \cdot 10,40 \cdot 0,1 \cdot 9,81 = 1,53 \text{ кН};$$

3) Навантаження від кабіни керування краном

$$F_{2m}^g = 0,15 \cdot F_{2m}^v \cdot 0,1 \cdot g = 0,15 \cdot 17,33 \cdot 0,1 \cdot 9,81 = 2,55 \text{ кН};$$

4) Навантаження на одно з чотирьох коліс візка від ваги візка з вантажем

$$F_{3m}^g = 0,1 \cdot F_{3m}^v \cdot 0,1 \cdot g = 0,1 \cdot 70,91 \cdot 0,1 \cdot 9,81 = 6,96 \text{ кН}.$$

Розрахункові сполучення навантажень необхідні для одночасного врахування дії на елементи мостового крану вертикальних і поздовжніх навантажень. Сполучення навантажень складаються для різних режимів роботи крану.

Під час роботи мостового крану найгіршим робочим режимом є ситуація, коли міст крану прискорюється або гальмує разом із вантажем на візку. При цьому одночасно діють як вертикальні навантаження, так і поздовжні горизонтальні навантаження. Проте оскільки візок крану може вільно переміщуватись по головних балках, то необхідно розглядати два найгірші можливі його положення (розрахункові випадки):

1. Візок розташований близько до середині головної балки на відстані z . При цьому в балці буде виникати найбільший згинальний момент (рис. 7, а).

Відстань z визначається як менше з двох значень:

$$z_1 = \frac{q_{1m}^v \cdot L^2 + F_{1m}^v \cdot L - 2 \cdot F_{2m}^v \cdot l + 2 \cdot F_{3m}^v \cdot (2 \cdot L - P)}{2 \cdot q_{1m}^v \cdot L + 8 \cdot F_{3m}^v} =$$

$$= \frac{4,18 \cdot 10,5^2 + 10,40 \cdot 10,5 - 2 \cdot 17,33 \cdot 3 + 2 \cdot 70,91 \cdot (2 \cdot 10,5 - 2,4)}{2 \cdot 4,18 \cdot 10,5 + 8 \cdot 70,91} = 4,74 \text{ м};$$

$$z_2 = 0,5 \cdot L = 0,5 \cdot 10,5 = 5,25 \text{ м}.$$

Тому остаточно приймаємо $z = 4,74 \text{ м}$.

2. Візок розташований близько до краю головної балки на відстані $a_{min} = 1,3 \text{ м}$. При цьому в балці буде виникати найбільша поперечна сила (рис. 7, б).

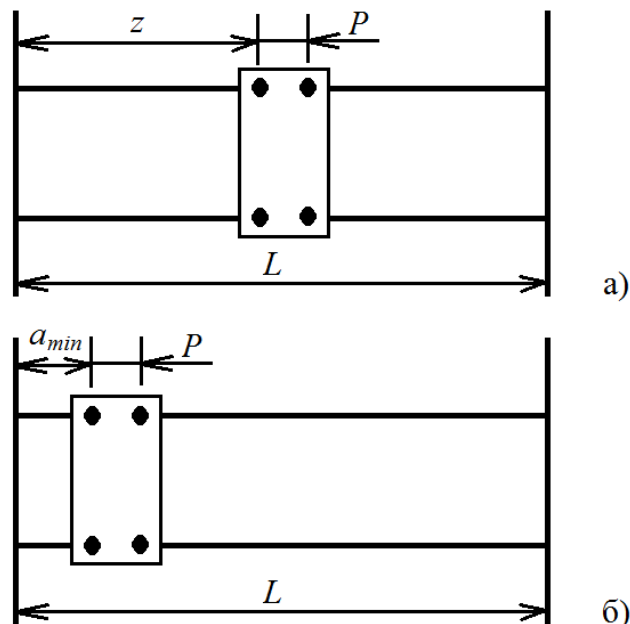


Рис. 7. Розрахункові випадки:

а) перший розрахунковий випадок; б) другий розрахунковий випадок.

Під час роботи мостового крана виникають й інші навантаження, які мають прийматись до уваги при реальному проєктуванні. До них належать:

- навантаження під час транспортування, монтажу крана та розміщення його в робочому положенні;
- синоптичні навантаження (снігове, вітрове, ожеледне, температурне), якщо кран розташований на відкритому повітрі;
- горизонтальні поздовжні навантаження від удару о буферний пристрій, якщо не спрацює кінцевий вимикач;
- сейсмічні навантаження для кранів, що призначені для роботи в сейсмічно активних районах.

Ці навантаження виникають за спеціальних умов експлуатації або належать до так званих аварійних навантажень. Їх врахування можливе лише за певного техніко-економічного обґрунтування.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Чим обумовлено виникнення поздовжніх навантажень?
2. За якими виразами визначаються поздовжні навантаження для балкового мостового крану?
3. Для чого необхідні розрахункові сполучення навантажень?
4. Які найгірші положення візка мостового крану визначають?
5. Які додаткові навантаження можуть діяти на мостовий кран?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6

Тема заняття: *Побудова лінії впливу для головної балки мостового крану і визначення згинального моменту.*

Мета заняття: розглянути принципи і алгоритм побудови лінії впливу згинального моменту для головної балки мостового крану та визначення величин згинальних моментів.

Для **першого розрахункового випадку** необхідно визначити максимальний згинальний момент в головній балці від зовнішніх навантажень. Оскільки крім нерухомих навантажень від власної ваги самої балки, центрального вузла керування та кабіни керування на балку діє рухоме навантаження від візка з вантажем, положення якого може змінюватись по довжині балки, то доцільно використати лінію впливу. Лінія впливу – це графік, який зображує закон зміни силового фактору (в даному випадку згинального моменту) від одиничного рухомого навантаження.

Розрахункова схема головної балки являє собою шарнірно оперту по кінцях балку. Лінія впливу згинального моменту буде мати вигляд трикутника з вершиною на відстані z під лівим катком візка.

Для прийнятих вихідних даних лінія впливу зображена на рис. 8.

Найбільша ордината лінії впливу визначається за стандартним виразом

$$y_3 = \frac{z \cdot (L - z)}{L} = \frac{4,74 \cdot (10,5 - 4,74)}{10,5} = 2,60 \text{ м.}$$

Інші ординати лінії впливу визначаємо з подоби відповідних трикутників за виразами

$$y_1 = y_3 \cdot \frac{L}{2 \cdot (L - z)} = 2,60 \cdot \frac{10,5}{2 \cdot (10,5 - 4,74)} = 2,37 \text{ м;}$$

$$y_2 = y_3 \cdot \frac{l}{z} = 2,60 \cdot \frac{3,00}{4,74} = 1,65 \text{ м;}$$

$$y_4 = y_3 \cdot \frac{L - z - P}{L - z} = 2,60 \cdot \frac{10,5 - 4,74 - 2,4}{10,5 - 4,74} = 1,52 \text{ м.}$$

Площа лінії впливу обчислюється за виразом

$$w = y_3 \cdot \frac{L}{2} = 2,60 \cdot \frac{10,5}{2} = 13,65 \text{ м}^2.$$

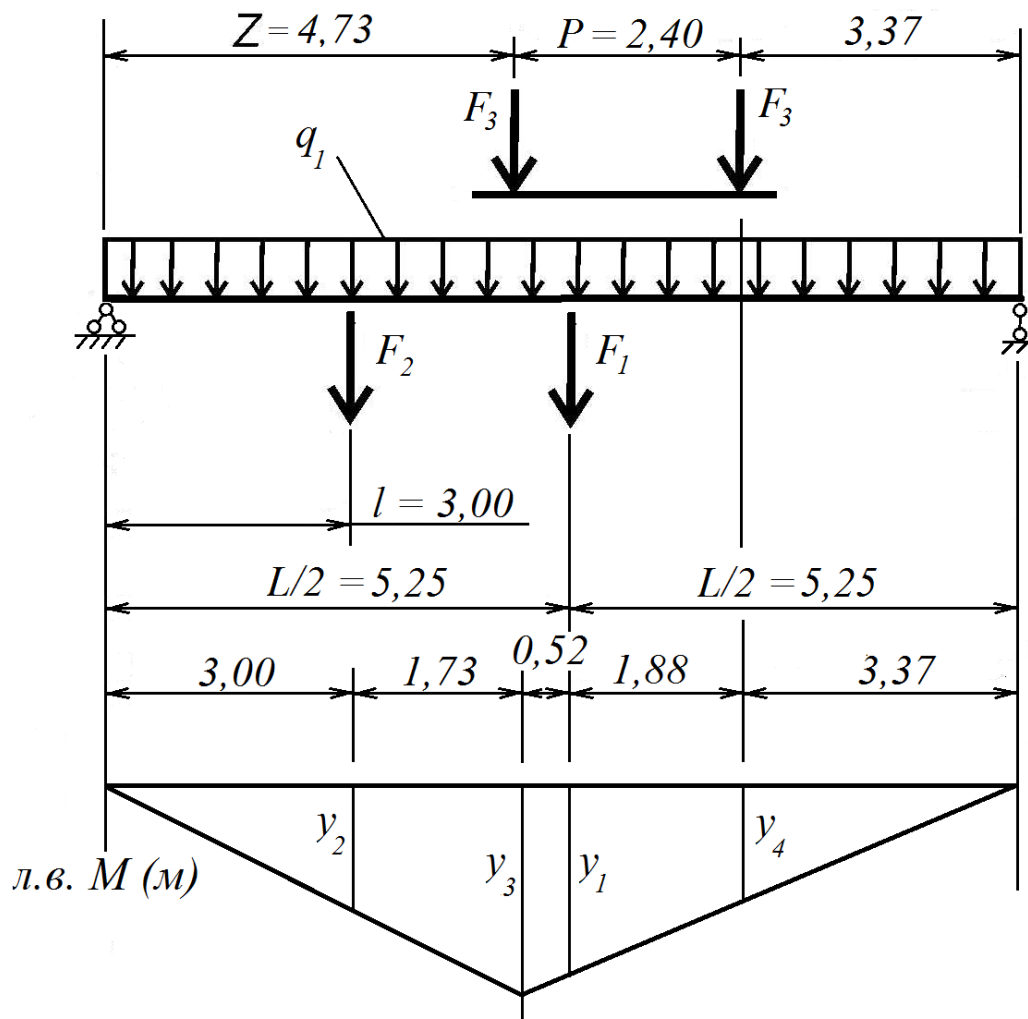


Рис. 8. Лінія впливу згинального моменту для головної балки.

Максимальні значення згинального моменту від розрахункових вертикальних навантажень за лінією впливу будуть дорівнювати

$$\begin{aligned}
 M_{1m,max}^v &= q_{1m}^v \cdot w + F_{1m}^v \cdot y_1 + F_{2m}^v \cdot y_2 + F_{3m}^v \cdot y_3 + F_{3m}^v \cdot y_4 = \\
 &= 4,18 \cdot 13,65 + 10,40 \cdot 2,37 + 17,33 \cdot 1,65 + 70,91 \cdot 2,60 + 70,91 \cdot 1,52 = \\
 &= 402,45 \text{ кН} \cdot \text{м} = 40245 \text{ кН} \cdot \text{см}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{1e,max}^v &= q_{1e}^v \cdot w + F_{1e}^v \cdot y_1 + F_{2e}^v \cdot y_2 + F_{3e}^v \cdot y_3 + F_{3e}^v \cdot y_4 = \\
 &= 3,98 \cdot 13,65 + 9,90 \cdot 2,37 + 16,50 \cdot 1,65 + 53,15 \cdot 2,60 + 53,15 \cdot 1,52 = \\
 &= 323,99 \text{ кН} \cdot \text{м} = 32399 \text{ кН} \cdot \text{см}
 \end{aligned}$$

Для розрахункових поздовжніх навантажень максимальне значення згинального моменту дорівнюватиме

$$M_{1m,max}^g = q_{1m}^g \cdot w + F_{1m}^g \cdot y_1 + F_{2m}^g \cdot y_2 + F_{3m}^g \cdot y_3 + F_{3m}^g \cdot y_4 =$$

$$= 0,62 \cdot 13,65 + 1,53 \cdot 2,37 + 2,55 \cdot 1,65 + 6,96 \cdot 2,60 + 6,96 \cdot 1,52 = 44,97 \text{ кН} \cdot \text{м} = 4497 \text{ кН} \cdot \text{см}$$

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що таке лінія впливу?
2. Чому в даному випадку для визначення згинального моменту потрібно використовувати лінію впливу, а не епюру?
3. Як побудувати лінію впливу згинального моменту для шарнірно опертої балки?
4. Як визначити ординати на лінії впливу?
5. Як визначити максимальні значення згинальних моментів за лінією впливу?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7

Тема заняття: *Побудова епюри для головної балки мостового крану і визначення поперечної сили.*

Мета заняття: розглянути принципи і алгоритм побудови епюри поперечної сили для головної балки мостового крану та визначення величин поперечної сили.

Для **другого розрахункового випадку** необхідно визначити максимальну поперечну силу в головній балці від зовнішніх навантажень. На відміну від згинального моменту місце розташування максимального значення поперечної сили відомо – на опорі, до якої наблизений візок з вантажем на відстань a_{min} . Тому доцільно використати епюру зусилля. Епюра зусилля – це графік, який зображує закон зміни силового фактору (в даному випадку поперечної сили) від заданих нерухомих навантажень.

Розрахункова схема головної балки, як і у випадку визначення згинального моменту, являє собою шарнірно оперту по кінцях балку. Епюра поперечної сили буде мати складний вигляд, наведений на рис. 9. Максимальні значення поперечної сили матимуть місце на лівій опорі в т. А.

Для прийнятих вихідних даних:

- для розрахункових вертикальних навантажень максимальне значення поперечної сили дорівнюватиме

$$\begin{aligned} Q_{1m,max}^v = R_A^v &= \frac{q_{1m}^v \cdot L}{2} + \frac{F_{1m}^v}{2} + \frac{F_{2m}^v \cdot (L - l)}{L} + \frac{F_{3m}^v \cdot (2 \cdot L - 2 \cdot a_{min} - P)}{L} \\ &= \frac{4,18 \cdot 10,5}{2} + \frac{10,40}{2} + \frac{17,33 \cdot (10,5 - 3,0)}{10,5} \\ &\quad + \frac{70,91 \cdot (2 \cdot 10,5 - 2 \cdot 1,3 - 2,4)}{10,5} = 147,58 \text{ кН.} \end{aligned}$$

- для розрахункових поздовжніх навантажень максимальне значення поперечної сили дорівнюватиме

$$\begin{aligned} Q_{1m,max}^g = R_A^g &= \frac{q_{1m}^g \cdot L}{2} + \frac{F_{1m}^g}{2} + \frac{F_{2m}^g \cdot (L - l)}{L} + \frac{F_{3m}^g \cdot (2 \cdot L - 2 \cdot a_{min} - P)}{L} \\ &= \frac{0,62 \cdot 10,5}{2} + \frac{1,53}{2} + \frac{2,55 \cdot (10,5 - 3,0)}{10,5} \\ &\quad + \frac{6,96 \cdot (2 \cdot 10,5 - 2 \cdot 1,3 - 2,4)}{10,5} = 16,45 \text{ кН.} \end{aligned}$$

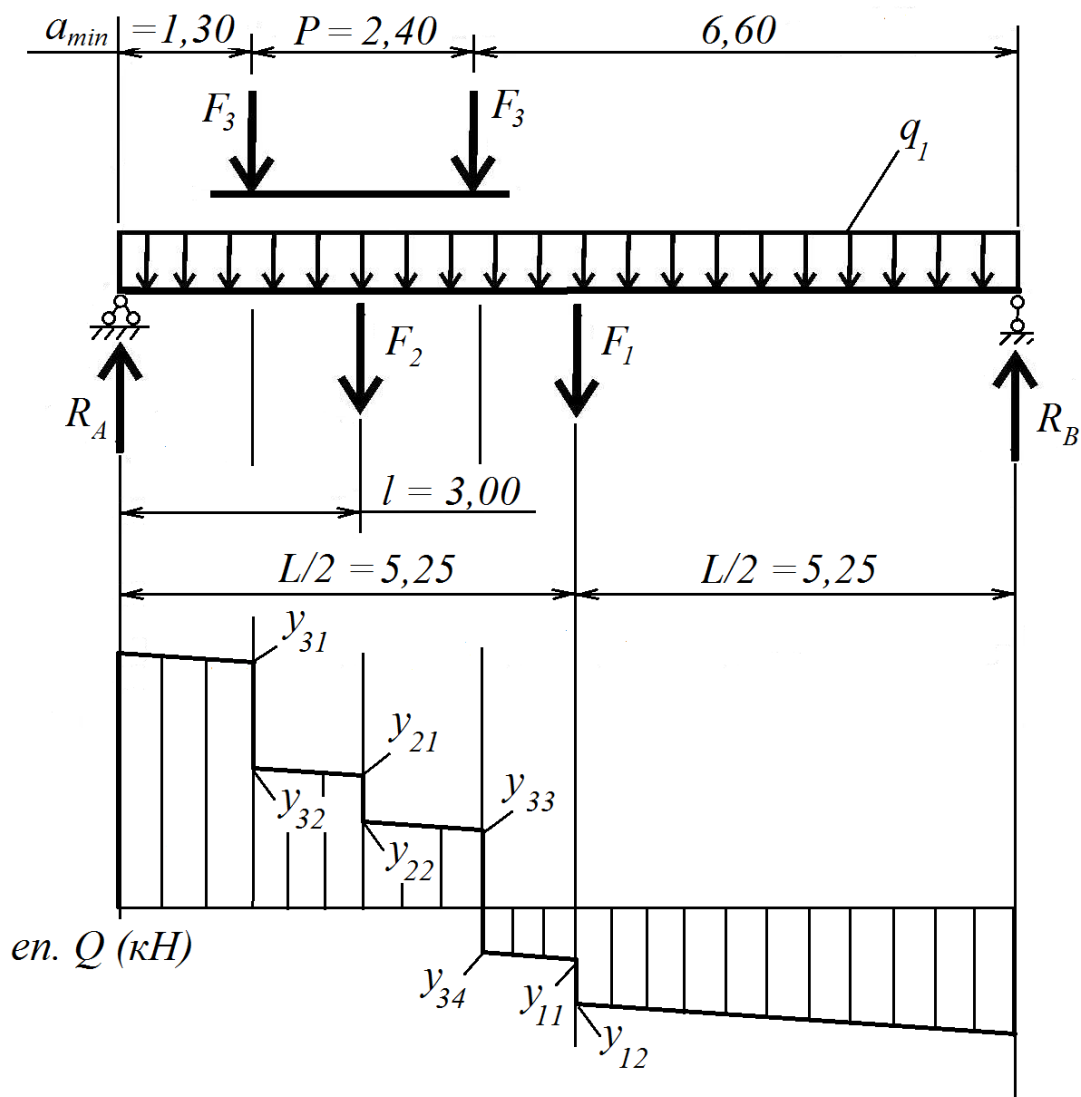


Рис. 9. Епюра поперечної сили для головної балки.

Проміжні значення визначаються за наступними виразами

$$y_{31} = R_A - q_1 \cdot a_{min};$$

$$y_{32} = R_A - q_1 \cdot a_{min} - F_3;$$

$$y_{21} = R_A - q_1 \cdot l - F_3;$$

$$y_{22} = R_A - q_1 \cdot l - F_2 - F_3;$$

$$y_{33} = R_A - q_1 \cdot (a_{min} + P) - F_2 - F_3;$$

$$y_{34} = R_A - q_1 \cdot (a_{min} + P) - F_2 - 2 \cdot F_3;$$

$$y_{11} = R_A - q_1 \cdot \frac{L}{2} - F_2 - 2 \cdot F_3;$$

$$y_{12} = R_A - q_1 \cdot \frac{L}{2} - F_1 - F_2 - 2 \cdot F_3.$$

Для прийнятого прикладу розрахунку проміжні значення поперечної сили дорівнюватимуть:

- для розрахункових вертикальних навантажень

$$y_{31} = 142,15 \text{ кН};$$

$$y_{32} = 71,24 \text{ кН};$$

$$y_{21} = 64,13 \text{ кН};$$

$$y_{22} = 46,80 \text{ кН};$$

$$y_{33} = 43,87 \text{ кН};$$

$$y_{34} = -27,04 \text{ кН};$$

$$y_{11} = -33,16 \text{ кН};$$

$$y_{12} = -43,92 \text{ кН};$$

- для розрахункових поздовжніх навантажень

$$y_{31} = 15,64 \text{ кН};$$

$$y_{32} = 8,68 \text{ кН};$$

$$y_{21} = 7,63 \text{ кН};$$

$$y_{22} = 5,08 \text{ кН};$$

$$y_{33} = 4,65 \text{ кН};$$

$$y_{34} = -2,31 \text{ кН};$$

$$y_{11} = -3,28 \text{ кН};$$

$$y_{12} = 4,81 \text{ кН}.$$

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що таке епюра зусилля?
2. Чому в даному випадку для визначення поперечної сили потрібно використувати епюру, а не лінію впливу?
3. Як побудувати епюру поперечної сили для шарнірно опертої балки?
4. Як визначити ординаті на епюрі?
5. Як визначити максимальні значення поперечних сил за епюрою?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8

Тема заняття: *Компонування поперечного перерізу головної балки мостового крану.*

Мета заняття: розглянути принципи компонування поперечного перерізу головної балки мостового крану.

Поперечний переріз головної балки мостового крану має коробчасту форму. Така форма дозволяє сприймати як вертикальні, так і поздовжні навантаження. Також при цьому переріз здатний сприймати випадкові навантаження від кручення балки під час роботи мостового крану.

Переріз складається з двох горизонтальних полиць та двох вертикальних стінок, зварених між собою односторонніми зварними швами (рис. 10). Для їх розміщення передбачається зв'яз $c = 15 \div 20$ мм. Полиці та стінки виконані з листової сталі. Їх розміри й потрібно визначити:

- h_w – висота стінки;
- t_w – товщина стінки;
- b_f – ширина полиці;
- t_f – товщина полиці.

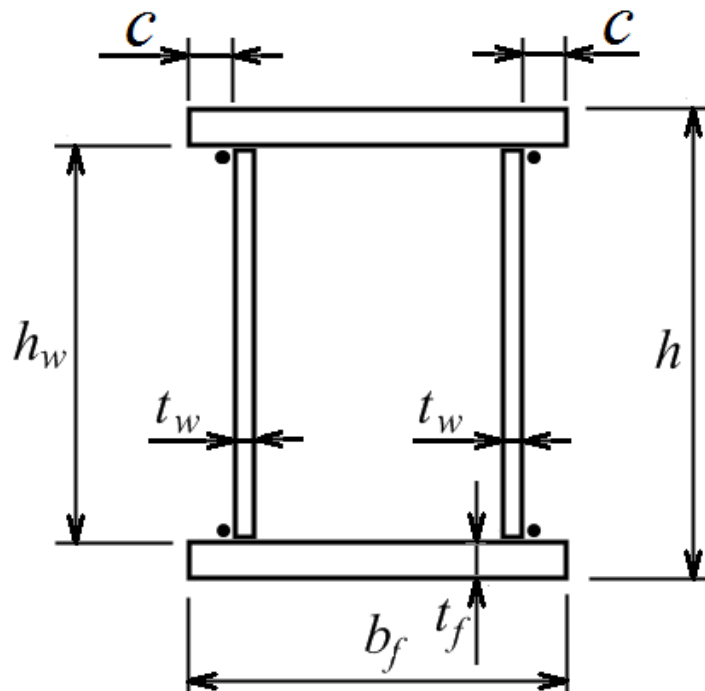


Рис. 10. Поперечний переріз головної балки.

Розглянемо процес компонування поперечного перерізу головної балки мостового крану для прийнятих вихідних даних.

Визначення розмірів поперечного перерізу починають з призначення висоти стінки в прольоті з умови отримання балки мінімальної ваги

$$h_w = \left(\frac{1}{14} \div \frac{1}{18}\right) \cdot L = \left(\frac{1}{14} \div \frac{1}{18}\right) \cdot 10,5 = 0,75 \div 0,58 \text{ м.}$$

Орієнтуючись на цей **діапазон** остаточно висоту приймають з урахуванням стандартної ширини прокатної сталі за сортаментом, який наведений в додатку А до даних навчально-методичних рекомендацій.

В нашому випадку за сортаментом приймаємо висоту $h_w = 670 \text{ мм} = 67 \text{ см}$.

Ширину верхнього і нижнього поясів приймають однаковим за досвідом проектування, оскільки випробовуваннями встановлено, що під дією горизонтальних сил, прикладених до рейки, в роботу включається весь переріз головної балки

$$b_f = (0,3 \div 0,4) \cdot h_w = (0,3 \div 0,4) \cdot 67 = 20,1 \div 26,8 \text{ см}$$

і для забезпечення жорсткості балки в горизонтальному напрямку не менше ніж

$$\frac{L}{50} = \frac{10,5}{50} = 0,21 \text{ м} = 21 \text{ см.}$$

За сортаментом прокатної сталі додатку А до даних навчально-методичних рекомендацій приймаємо ширину $b_f = 240 \text{ мм} = 24 \text{ см}$.

Для визначення товщини стінки обчислюють потрібний момент опору перерізу за виразом

$$W_{cal} = \frac{M_{1m,max}^v}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot \left(1 + \frac{h_w \cdot M_{1m,max}^g}{b_f \cdot M_{1m,max}^v}\right) = \frac{40245}{19 \cdot 0,85} \cdot \left(1 + \frac{67 \cdot 4497}{24 \cdot 40245}\right) = 3269 \text{ см}^3,$$

де коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0,85$ у випадку розташування рейки для візка посередині головної балки.

Тоді товщину стінки необхідно приймати більшою за значення

$$t_w = \frac{3 \cdot W_{cal}}{4 \cdot h_w^2} = \frac{3 \cdot 3269}{4 \cdot 65^2} = 0,58 \text{ см} = 5,8 \text{ мм.}$$

За сортаментом прокатної сталі додатку А до даних навчально-методичних рекомендацій приймаємо ближчу більшу товщину $t_w = 6 \text{ мм} = 0,6 \text{ см}$.

Для визначення товщини поясу обчислюють його потрібну площу за виразом

$$A_{f,cal} = \frac{W_{cal}}{h_w} - \frac{h_w \cdot t_w}{3} = \frac{3269}{65} - \frac{65 \cdot 0,6}{3} = 37,29 \text{ см}^2.$$

Тоді товщину поясу необхідно приймати більшою за значення

$$t_f = \frac{A_{f,cal}}{b_f} = \frac{37,29}{24} = 1,55 \text{ см} = 15,5 \text{ мм.}$$

За сортаментом прокатної сталі додатку А до даних навчально-методичних рекомендацій приймаємо найближче більше значення $t_f = 16 \text{ мм} = 1,6 \text{ см}$.

У випадку якщо товщина поясу перевищує товщину стінки більше ніж в 3 рази, треба збільшити товщину стінки і повторити розрахунки.

Скомпонований таким чином поперечний переріз головної балки в прольоті з усіма прийнятими розмірами зображено на рис. 11.

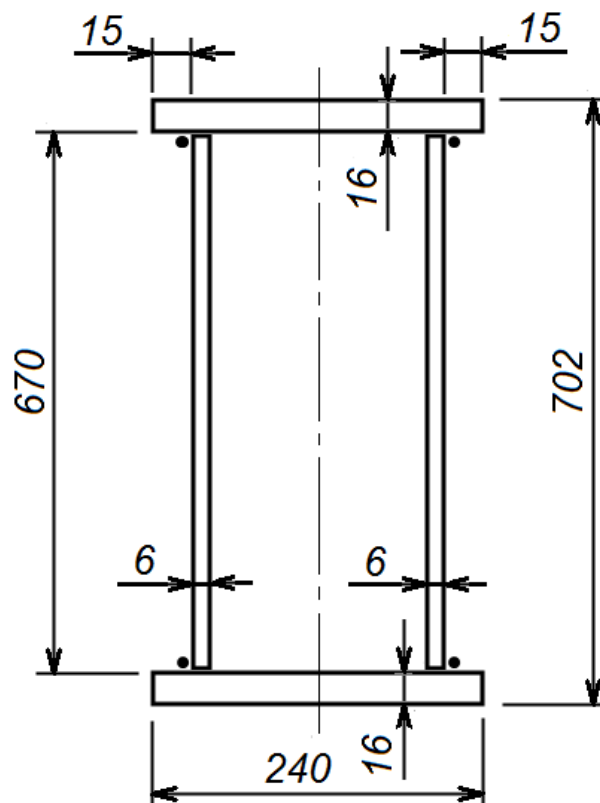


Рис. 11. Скомпонований поперечний переріз головної балки в прольоті.

З метою зручності приєднання до кінцевої балки по кінцях головної балки виконують скоси, при цьому висота балки на опорі буде меншою ніж в середині прольоту.

Висоту стінки на опорі призначають за досвідом проектування за виразом

$$h_{w0} = (0,45 \div 0,55) \cdot h_w = (0,45 \div 0,55) \cdot 67 = 30,15 \div 36,85 \text{ см.}$$

Орієнтуючись на цей **діапазон** остаточно висоту стінки на опорі приймають з урахуванням стандартної ширини прокатної сталі за сортаментом, який наведений в додатку А до даних навчально-методичних рекомендацій.

В нашому випадку за сортаментом приймаємо $h_{w0} = 340 \text{ мм} = 34 \text{ см}$.

Інші геометричні розміри поперечного перерізу головної балки на опорі приймають аналогічними до прольоту. Отриманий таким чином поперечний переріз головної балки на опорі з усіма прийнятими розмірами зображено на рис. 12.

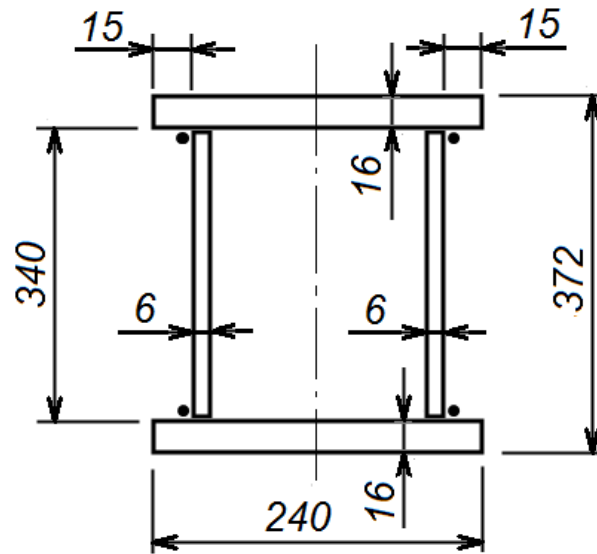


Рис. 12. Скомпонований поперечний переріз головної балки на опорі.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Яку форму і чому має поперечний переріз головної балки мостового крану?
2. Як визначається висота стінки поперечного перерізу головної балки мостового крану?
3. Як визначається товщина стінки поперечного перерізу головної балки мостового крану?
4. Як визначається ширина полиці поперечного перерізу головної балки мостового крану?
5. Як визначається товщина полиці поперечного перерізу головної балки мостового крану?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 9

Тема заняття: *Перевірка поперечного перерізу головної балки мостового крану на міцність.*

Мета заняття: розглянути алгоритм виконання перевірки скомпонованого поперечного перерізу головної балки мостового крану на міцність за нормальними і дотичними напруженнями.

Відповідно до ДБН В.2.6-198:2014 [5] головна балка мостового крана має відповідати восьми основним вимогам:

- 1) міцності за нормальними напруженнями;
- 2) міцності за дотичними напруженнями;
- 3) міцності за локальними напруженнями;
- 4) місцевої стійкості поясу;
- 5) місцевої стійкості стінки;
- 6) жорсткості;
- 7) власних коливань;
- 8) міцності рейки під візком.

В практиці проектування для кранів з режимами роботи 7К, 8К додатково може перевірятися умова витривалості балки.

Розглянемо виконання перевірок № 1 і № 2 скомпонованого поперечного перерізу головної балки відповідно до заданих вихідних даних і виконаних попередніх розрахунків.

1. Міцність за нормальними напруженнями у випадку косоного згину перевіряється в прольоті балки за виразом

$$\frac{M_{1m,max}^v}{W^v \cdot R_y \cdot \gamma_c} + \frac{M_{1m,max}^g}{W^g \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{40245}{3432 \cdot 19 \cdot 0,85} + \frac{4497}{1005 \cdot 19 \cdot 0,85} = 0,99 < 1,$$

де моменти інерції та опору у двох площинах для скомпонованого поперечного перерізу головної балки в прольоті дорівнюють

$$\begin{aligned} I^v &= 2 \cdot \left[\frac{t_w \cdot h_w^3}{12} + \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + b_f \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_w + t_f}{2} \right)^2 \right] = \\ &= 2 \cdot \left[\frac{0,6 \cdot 67^3}{12} + \frac{24 \cdot 1,6^3}{12} + 24 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{67 + 1,6}{2} \right)^2 \right] = 120447 \text{ см}^4; \\ W^v &= \frac{2 \cdot I^v}{h} = \frac{2 \cdot 120447}{70,2} = 3432 \text{ см}^3; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I^g &= 2 \cdot \left[\frac{t_f \cdot b_f^3}{12} + \frac{h_w \cdot t_w^3}{12} + h_w \cdot t_w \cdot \left(\frac{b_f - t_w}{2} - c \right)^2 \right] = \\
&= 2 \cdot \left[\frac{1,6 \cdot 24^3}{12} + \frac{67 \cdot 0,6^3}{12} + 67 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{24 - 0,6}{2} - 1,5 \right)^2 \right] = 12055 \text{ см}^4; \\
W^g &= \frac{2 \cdot I^g}{b_f} = \frac{2 \cdot 12055}{24} = 1005 \text{ см}^3.
\end{aligned}$$

Таким чином, дана умова виконана.

Допускається перенапруження в межах **2 %**. Невиконання цієї перевірки означає необхідність збільшення або зменшення розмірів поперечного перерізу балки, відповідно.

2. Міцність за дотичними напруженнями у випадку косоного згину перевіряється на опорі балки за виразом

$$\begin{aligned}
&\frac{Q_{1m,max}^v \cdot S_0^v}{I^v_0 \cdot t_w \cdot R_S \cdot \gamma_c} + \frac{Q_{1m,max}^g \cdot S_0^g}{I^g_0 \cdot t_f \cdot R_S \cdot \gamma_c} = \\
&= \frac{147,58 \cdot 857}{28280 \cdot 0,6 \cdot 11,02 \cdot 0,85} + \frac{16,45 \cdot 439}{7932 \cdot 1,6 \cdot 11,02 \cdot 0,85} = 0,86 < 1.
\end{aligned}$$

де моменти інерції у двох площинах для скомпонованого поперечного перерізу головної балки на опорі дорівнюють

$$\begin{aligned}
I^v_0 &= 2 \cdot \left[\frac{t_w \cdot h_{w0}^3}{12} + \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + b_f \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_{w0} + t_f}{2} \right)^2 \right] = \\
&= 2 \cdot \left[\frac{0,6 \cdot 34^3}{12} + \frac{24 \cdot 1,6^3}{12} + 24 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{34 + 1,6}{2} \right)^2 \right] = 28280 \text{ см}^4;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I^g_0 &= 2 \cdot \left[\frac{t_f \cdot b_f^3}{12} + \frac{h_{w0} \cdot t_w^3}{12} + h_{w0} \cdot t_w \cdot \left(\frac{b_f - t_w}{2} - c \right)^2 \right] = \\
&= 2 \cdot \left[\frac{1,6 \cdot 24^3}{12} + \frac{34 \cdot 0,6^3}{12} + 34 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{24 - 0,6}{2} - 1,5 \right)^2 \right] = 7932 \text{ см}^4,
\end{aligned}$$

а статичні моменти у двох площинах дорівнюють

$$\begin{aligned}
S_0^v &= h_{w0} \cdot t_w \cdot \frac{h_{w0}}{4} + b_f \cdot t_f \cdot \frac{h_{w0} + t_f}{2} = \\
&= 34 \cdot 0,6 \cdot \frac{34}{4} + 24 \cdot 1,6 \cdot \frac{34 + 1,6}{2} = 857 \text{ см}^3;
\end{aligned}$$

$$S_0^g = h_{w0} \cdot t_w \cdot \left(\frac{b_f - t_w}{2} - c \right) + b_f \cdot t_f \cdot \frac{b_f}{4} =$$

$$= 34 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{24 - 0,6}{2} - 1,5 \right) + 24 \cdot 1,6 \cdot \frac{24}{4} = 439 \text{ см}^3.$$

Розрахунковий опір сталі на зсув за табл. 7.1 ДБН В.2.6-198:2014 [5] визначається як

$$R_S = 0,58 \cdot R_y = 0,58 \cdot 190 = 110,2 \text{ МПа} = 11,02 \text{ кН/см}^2.$$

Таким чином, дана умова виконана.

Невиконання цієї перевірки означає необхідність збільшення розмірів поперечного перерізу балки.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Яким умовам відповідно до чинної нормативної бази має відповідати головна балка мостового крану?
2. За яким виразом перевіряється міцність за нормальними напруженнями головної балки мостового крану?
3. За яким виразом перевіряється міцність за дотичними напруженнями головної балки мостового крану?
4. Як визначаються моменти інерції поперечного перерізу головної балки мостового крану?
5. Як визначаються моменти опору поперечного перерізу головної балки мостового крану?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 10

Тема заняття: *Перевірка поперечного перерізу головної балки мостового крану на міцність (продовження).*

Мета заняття: розглянути алгоритм виконання перевірки скомпанованого поперечного перерізу головної балки мостового крану на міцність за локальними напруженнями, а також міцності рейки під візком.

Розглянемо виконання перевірок № 3 і № 8 скомпанованого поперечного перерізу головної балки відповідно до заданих вихідних даних і виконаних попередніх розрахунків.

3. Міцність за локальними напруженнями від дії зосередженого вертикального навантаження від візка з вантажем перевіряється для стінки балки за виразом

$$\frac{\sigma_{loc}}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{9,59}{19 \cdot 0,85} = 0,59 < 1,$$

При цьому потрібно спочатку розрахувати момент інерції верхнього поясу балки

$$I_{1f} = \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} = \frac{24 \cdot 1,6^3}{12} = 8,19 \text{ см}^4,$$

далі визначити розрахункову довжину умовної площадки, через яку передається зосереджене навантаження (рис. 13) за виразом

$$l_{ef1} = \psi \cdot \sqrt[3]{\frac{I_{1f}}{2 \cdot t_w}} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{8,19}{2 \cdot 0,6}} = 6,16 \text{ см},$$

(коефіцієнт $\psi = 3,25$ для зварних балок за п. 9.2.2 ДБН В.2.6-198:2014 [5])

і розрахувати локальне напруження

$$\sigma_{loc} = \frac{F_{3m}^v}{2 \cdot l_{ef1} \cdot t_w} = \frac{70,91}{2 \cdot 6,16 \cdot 0,6} = 9,59 \text{ кН/см}^2,$$

У випадку невиконання цієї перевірки необхідно збільшити товщини стінок або поясів балки.

8. Для забезпечення **міцності рейки під візком** з вантажем розташовують вертикальні діафрагми жорсткості. Їх максимальний крок становить

$$s_{max} = \frac{5 \cdot W_p \cdot R_y \cdot \gamma_c}{F_{3m}^v} = \frac{5 \cdot 208 \cdot 19 \cdot 0,85}{70,91} = 236,9 \text{ см} = 2369 \text{ мм},$$

де W_p – момент опору рейки (орієнтовно типу Р43).

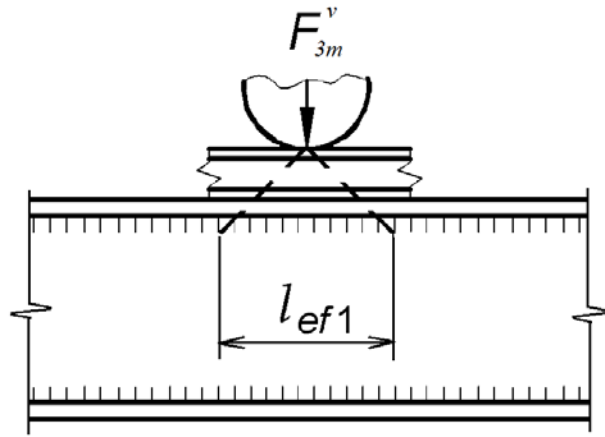


Рис. 13. Схема передачі зосередженого навантаження на стінку головної балки.

Крок діафрагм має бути менший за розрахований максимальний S_{\max} і кратний 100 мм. Також діафрагми розташовують симетрично, а крайні діафрагми розміщують в місцях скосів головної балки. Прийнята в даному випадку схема розташування вертикальних діафрагм жорсткості наведена на рис. 14.

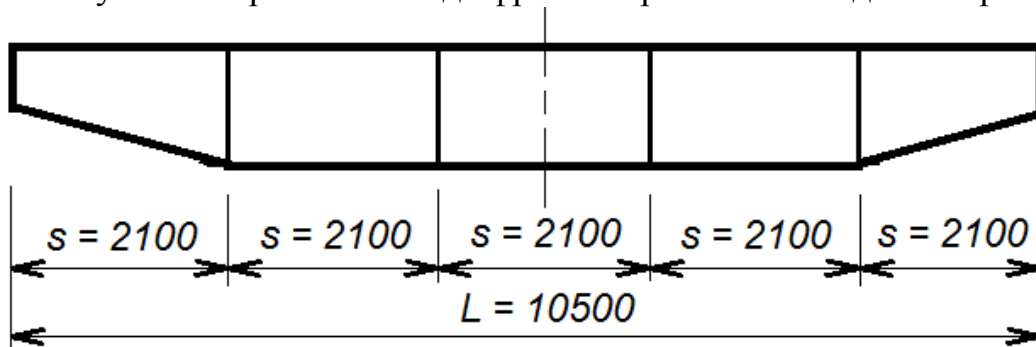


Рис. 14. Схема розміщення основних вертикальних діафрагм в головній балці.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. За яким виразом перевіряється міцність за локальними напруженнями головної балки мостового крану?
2. Які параметри необхідно визначити для основного виразу умови міцності за локальними напруженнями головної балки мостового крану?
3. За яким виразом перевіряється міцність рейки під візком з вантажем головної балки мостового крану?
4. Які параметри необхідно визначити для основного виразу умови міцності рейки під візком з вантажем головної балки мостового крану?
5. За яким принципом розташовують діафрагми в головній балці мостового крану?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 11

Тема заняття: *Перевірка поперечного перерізу головної балки мостового крану на стійкість, жорсткість та динаміку.*

Мета заняття: розглянути алгоритм виконання перевірок скомпанованого поперечного перерізу головної балки мостового крану на місцеву стійкість поясу і стінки, жорсткість і власні коливання.

Розглянемо виконання перевірок № 4-7 скомпанованого поперечного перерізу головної балки відповідно до заданих вихідних даних і виконаних попередніх розрахунків.

4. **Місцева стійкість поясу балки** перевіряється за величиною умовної гнучкості поясу

$$\bar{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{19,8}{1,6} \cdot \sqrt{\frac{19}{20600}} = 0,38 < 1,5,$$

де відстань між внутрішніми гранями стінок перерізу дорівнює $b_{ef} = b_f - 2 \cdot c - 2 \cdot t_w = 24 - 2 \cdot 1,5 - 2 \cdot 0,6 = 19,8$ см.

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно збільшити товщину поясів балки.

5. **Місцева стійкість стінки балки** перевіряється за величиною умовної гнучкості стінки

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{65}{0,6} \cdot \sqrt{\frac{19}{20600}} = 3,29 > 2,2.$$

Таким чином, дана умова не виконана і необхідно збільшити товщину стінки балки.

За сортаментом прокатної сталі прийемо нову товщину стінки $t_w = 9$ мм = 0,9 см. Тоді умова буде виконана

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{65}{0,9} \cdot \sqrt{\frac{19}{20600}} = 2,19 < 2,2.$$

Перерахуємо момент інерції перерізу в прольоті і на опорі

$$I^{v1} = 2 \cdot \left[\frac{t_w \cdot h_w^3}{12} + \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + b_f \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_w + t_f}{2} \right)^2 \right] =$$

$$= 2 \cdot \left[\frac{0,9 \cdot 65^3}{12} + \frac{24 \cdot 1,6^3}{12} + 24 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{65 + 1,6}{2} \right)^2 \right] = 126373 \text{ см}^4;$$

$$I^{v1}_0 = 2 \cdot \left[\frac{t_w \cdot h_{w0}^3}{12} + \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + b_f \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_{w0} + t_f}{2} \right)^2 \right] =$$

$$= 2 \cdot \left[\frac{0,9 \cdot 34^3}{12} + \frac{24 \cdot 1,6^3}{12} + 24 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{34 + 1,6}{2} \right)^2 \right] = 30245 \text{ см}^4.$$

6. **Жорсткість** (максимальний вертикальний прогин) перевіряється за наближеним виразом

$$f_{max} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{1e,max}^v \cdot L^2}{E \cdot I^{v1}} =$$

$$= \frac{5}{48} \cdot \frac{32399 \cdot 1050^2}{20600 \cdot 126373} = 1,43 \text{ см} < f_u = \frac{L}{500} = \frac{1050}{500} = 2,10 \text{ см},$$

де f_u – граничний прогин, який приймається в залежності від режиму роботи крана: $1K \div 4K - f_u = \frac{L}{400}$; $5K \div 8K - f_u = \frac{L}{500}$.

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно збільшити товщину поясів балки.

7. Для перевірки **вимоги щодо власних коливань** головної балки розрахуємо додаткові величини.

Згинальна жорсткість балки

$$c = \frac{48 \cdot E \cdot I^{v1}}{L^3} = \frac{48 \cdot 20600 \cdot 126373}{1050^3} = 107,94 \text{ кН/см} = 10794 \text{ кН/м}.$$

Приведена маса конструкції крана з вантажем

$$m = \frac{17 \cdot G_0^{гб}}{35 \cdot g} + \frac{G_0^{віз} + Q}{2} = \frac{17 \cdot 27,5}{35 \cdot 9,81} + \frac{3,7 + 16}{2} = 11,21 \text{ т},$$

де g – прискорення вільного падіння $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Частота власних коливань головної балки

$$p = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \cdot \sqrt{\frac{10794}{11,21}} = 4,94 \text{ Гц}.$$

Логарифмічний декремент коливань головної балки

$$\lambda = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot p^2 = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4,94^2 = 0,13.$$

Тоді час згасання власних коливань головної балки дорівнюватиме

$$t = \frac{\ln(2 \cdot f_{max})}{p \cdot \lambda} = \frac{\ln(2 \cdot 1,43)}{4,94 \cdot 0,13} = 1,63 \text{ с} < 15 \text{ с.}$$

Таким чином дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно збільшити товщини стінок або поясів балки.

Після всіх виконаних перевірок № 1-8 остаточно прийняті поперечні перерізи головної балки в прольоті та на опорі зображені на рис. 15.

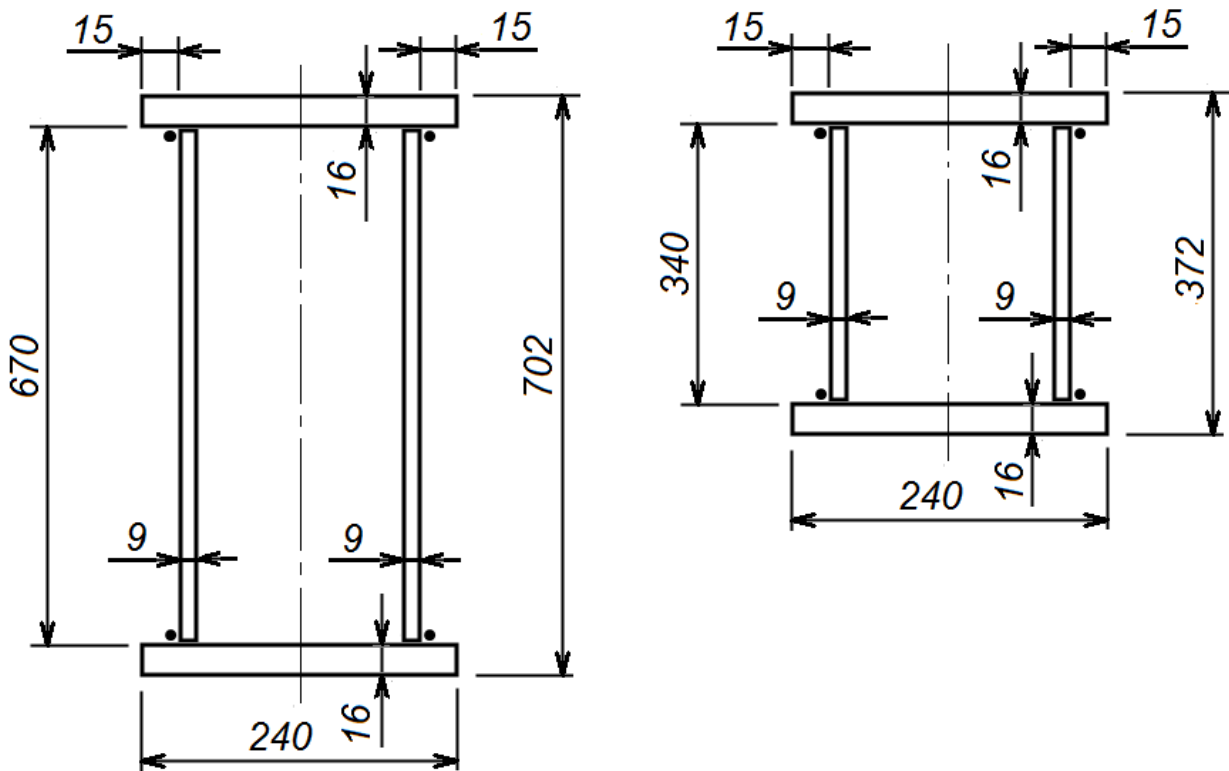


Рис. 15. Остаточні поперечні перерізи головної балки в прольоті (ліворуч) і на опорі (праворуч).

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. За яким виразом перевіряється місцева стійкість поясу головної балки мостового крану?
2. За яким виразом перевіряється місцева стійкість стінки головної балки мостового крану?
3. За яким виразом перевіряється жорсткість головної балки мостового крану?
4. За яким виразом перевіряється умова щодо власних коливань мостового крану?
5. Чи можуть відрізнятись первісно скомпонований поперечний переріз головної балки мостового крану та остаточний після виконання всіх перевірок?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 12

Тема заняття: *Розрахунок зварного шва в головній балці мостового крану.*

Мета заняття: розглянути алгоритм підбору катету поясного зварного шва в поперечному перерізі головної балки мостового крану.

Розрахунок поясного шву, за допомогою якого пояси головної балки приєднуються до її стінки, виконують в перерізі з максимальною поперечною силою – в опорному перерізі.

Для визначення розрахункової площини зварного шва обчислюють наступну додаткову величину за виразом

$$\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{0,45 \cdot \beta_z \cdot R_{un}} = \frac{0,7 \cdot 18}{0,45 \cdot 1,0 \cdot 36} = 0,78 < 1,$$

де для випадку механізованого зварювання коефіцієнти $\beta_f = 0,7$ і $\beta_z = 1,0$ за табл. 16.2 ДБН В.2.6-198:2014 [5] – табл. 11 – для найбільшого можливого катету шва і положень зварювання «нижнє» або «в човник».

- розрахунковий опір кутового зварного шва $R_{wf} = 180$ МПа = 18 кН/см² (для сталі заданого за вихідними даними класу С235) – табл. Д.2 ДБН В.2.6-198:2014 [5] – табл. 12;

- характеристичний опір $R_{un} = 360$ МПа = 36 кН/см² (найменше значення з усіх наявних для листового прокату в межах заданого за вихідними даними класу міцності сталі С235) – табл. Г.2 ДБН В.2.6-198:2014 [5] – табл. 6.

Оскільки отримана величина менше 1, то необхідний катет зварного шва слід визначати у площині наплавленого металу за виразом

$$k_f = \frac{Q_{1m,max}^v \cdot b_f \cdot t_f \cdot \frac{h_{w0} + t_f}{2}}{n \cdot \beta_f \cdot I_0^{v1} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} = \frac{147,58 \cdot 24 \cdot 1,6 \cdot \frac{34 + 1,6}{2}}{2 \cdot 0,7 \cdot 30245 \cdot 18 \cdot 0,85} = 0,16 \text{ см} = 1,6 \text{ мм.}$$

де кількість кутових поясних швів $n = 2$.

У випадку коли отримана величина більше 1, необхідний катет зварного шва слід визначати у площині металу межі сплавлення за виразом

$$k_f = \frac{Q_{1m,max}^v \cdot b_f \cdot t_f \cdot \frac{h_{w0} + t_f}{2}}{n \cdot \beta_z \cdot I_0^{v1} \cdot 0,45 \cdot R_{un} \cdot \gamma_c}.$$

Коефіцієнти β_f і β_z

Вид зварювання при діаметрі зварювального дроту d_f , мм	Положення шва	Коефіцієнт	Значення коефіцієнтів β_f і β_z при нормальних режимах зварювання і катетів швів, мм			
			3...8	9...12	14...16	понад 16
Автоматичне при $d_f = 3 - 5$	у човник	β_f	1,1			0,7
		β_z	1,15			1,0
	нижнє	β_f	1,1	0,9		0,7
		β_z	1,15	1,05		1,0
Автоматичне та механізоване при $d_f = 1,4 - 2$	у човник	β_f	0,9		0,8	0,7
		β_z	1,05		1,0	
	нижнє, горизонтальне, вертикальне	β_f	0,9	0,8	0,7	
		β_z	1,05	1,0		
Ручне, механізоване дротом суцільного перерізу при $d_f < 1,4$ або порошковим дротом	у човник, нижнє, горизонтальне, вертикальне, стельове	β_f	0,7			
		β_z	1,0			

Таблиця 12

Характеристичні та розрахункові опори металу кутових швів

Рекомендований клас міцності основного металу	Метал кутового шва	
	Характеристичний опір R_{wm} , Н/мм ²	Розрахунковий опір R_{wf} , Н/мм ²
С315 і нижче	410	180
Вище С315 до С355 включно	450	200
Вище С355 до С390 включно	490	215
Вище С390 до С440 включно	590	240
Вище С440	685	280

Остаточню приймається катет зварного шва **більший за розрахований** за табл. 16.1 ДБН В.2.6-198:2014 [5] – табл. 13. Крім цього, прийнятий катет зварного шва має бути не більше за $1,2 \cdot t_w$.

В нашому випадку за цією таблицею для автоматичного зварювання остаточно приймемо катет поясного шва для головної балки $k_f = 6$ мм, оскільки товщина товстішого з двох зварюваних елементів – полки і стінки перерізу головної балки становить 16 мм за попередніми розрахунками. Також прийнятий катет зварного шва менше за $1,2 \cdot t_w = 1,2 \cdot 9 = 10,8$ мм.

Мінімальні катети зварних швів

Вид з'єднання	Вид зварювання	Характеристичний опір прокату сталі R_{yn} , Н/мм ²	Мінімальний катет шва $k_{f,min}$, мм, при товщині товстішого елемента у з'єднанні t_{max} , мм						
			4...5	6...10	11...16	17...22	23...32	33...40	41...80
Таврове з двосторонніми кутовими швами; напускне і кутове	Ручне та механізоване у суміші газів	$R_{yn} \leq 290$	4	5	6	7	8	9	10
		$290 \leq R_{yn} \leq 390$	4	5	6	7	8	9	10
		$390 \leq R_{yn} \leq 590$	5	6	7	8	9	10	12
	Механізоване у вуглекислому газі	$R_{yn} \leq 290$	3	4	4	5	5	6	6
		$290 \leq R_{yn} \leq 390$	3	4	5	6	7	8	9
		$390 \leq R_{yn} \leq 590$	4	5	6	7	8	9	10
Таврове з односторонніми кутовими швами	Ручне та механізоване у суміші газів	$R_{yn} \leq 390$	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматичне та механізоване у вуглекислому газі	$R_{yn} \leq 390$	4	5	6	7	8	9	10

Примітка 1: У конструкціях із сталі з границею текучості понад 590 Н/мм², а також з усіх сталей при товщині елементів у з'єднанні понад 80 мм мінімальний катет кутових швів слід приймати за спеціальними нормативними документами.

Примітка 2: У конструкціях 4-ї групи мінімальний катет односторонніх кутових швів слід зменшувати на 1 мм – при товщині товстішого елемента у з'єднанні до 40 мм і на 2 мм – при товщині товстішого елемента у з'єднанні понад 40 мм.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Як визначається площа руйнування зварного шва?
2. За яким виразом розраховують катет зварного шва у площині наплавленого металу?
3. За яким виразом розраховують катет зварного шва у площині металу межі сплавлення?
4. Як приймається мінімальний катет зварного шва?
5. Як приймається максимальний катет зварного шва?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 13

Тема заняття: *Визначення зусиль для кінцевої балки мостового крану.*

Мета заняття: розглянути принципи і алгоритм визначення внутрішніх зусиль в кінцевій балці мостового крану.

Визначимо зусилля, які виникають в кінцевій балці мостового крану. Основними навантаженнями, що діють на неї є власна вага самої кінцевої балки та вертикальні опорні реакції від двох головних балок у другому розрахунковому випадку. Оскільки ці навантаження є нерухомими, то зусилля будемо визначати за епюрами. Розрахункова схема кінцевої балки являє собою шарнірно оперту балку і для заданих за вихідними даними параметрів має вигляд наведений на рис. 16.

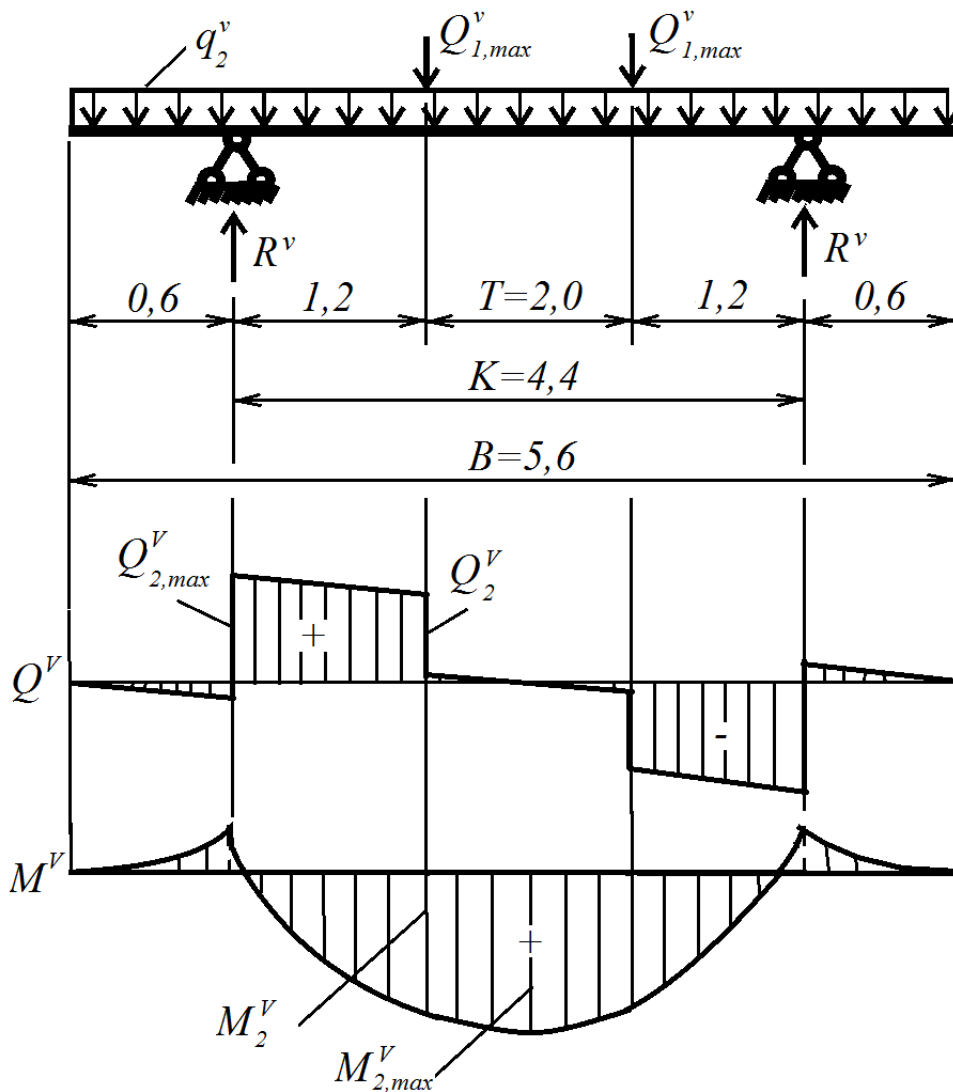


Рис. 16. Епюри зусиль від вертикальних навантажень для кінцевої балки.

Виконаємо розрахунок внутрішніх зусиль для заданих за вихідними даними параметрів.

Опорні реакції в силу симетрії балки та навантаження будуть однаковими і визначаються зі статичного рівняння рівноваги. Вони дорівнюватимуть

$$R_m^v = \frac{q_{2m}^v \cdot B}{2} + Q_{1m,max}^v = \frac{2,07 \cdot 5,6}{2} + 147,58 = 153,38 \text{ кН.}$$

Найбільш небезпечним перерізом кінцевої балки буде переріз в точці прикріплення головної балки. В цьому місці практично максимальні значення приймають поперечна сила та згинальний момент, що виникають від вертикальних навантажень. Обчислимо їх величини.

Значення поперечної сили дорівнюватиме

$$Q_{2m}^v = R_m^v - q_{2m}^v \cdot \frac{B - T}{2} = 153,38 - 2,07 \cdot \frac{5,6 - 2,0}{2} = 149,65 \text{ кН.}$$

Значення згинального моменту дорівнюватиме

$$M_{2m}^v = R_m^v \cdot \frac{K - T}{2} - q_{2m}^v \cdot \frac{(B - T)^2}{8} = 153,38 \cdot \frac{4,4 - 2,0}{2} - 2,07 \cdot \frac{(5,6 - 2,0)^2}{8}$$

$$= 180,70 \text{ кН} \cdot \text{м} = 18070 \text{ кН} \cdot \text{см.}$$

Крім вертикальних навантажень на кінцеву балку діє поперечне навантаження від можливого перекосу моста крана. Його граничне розрахункове значення визначається за виразом

$$F_m^p = 0,015 \cdot Q_{1m,max}^v \cdot \left(\frac{L}{K} + 1,33 \cdot V \right) =$$

$$= 0,015 \cdot 147,58 \cdot \left(\frac{10,5}{4,4} + 1,33 \cdot 0,75 \right) = 7,49 \text{ кН.}$$

Розрахункова схема кінцевої балки для цього випадку являє собою шарнірно оперту балку (рис. 17). Максимальні зусилля будуть діяти в точці прикріплення головної балки. Обчислимо їх величини.

Значення поперечної сили дорівнюватиме

$$Q_{2m}^p = Q_2^p = F_m^p = 7,49 \text{ кН.}$$

Значення згинального моменту дорівнюватиме

$$M_{2m}^p = F_m^p \cdot \frac{K - T}{2} = 7,49 \cdot \frac{4,4 - 2,0}{2} = 8,99 \text{ кН} \cdot \text{м} = 899 \text{ кН} \cdot \text{см.}$$

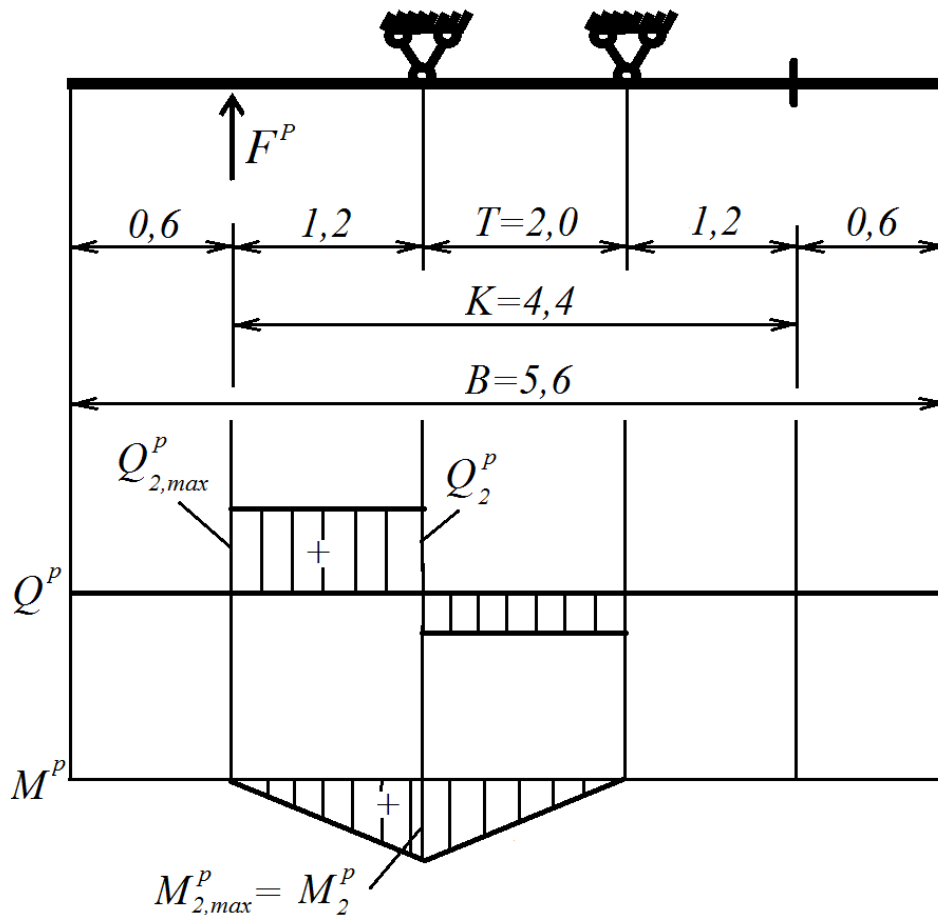


Рис. 17. Епюри зусиль від поперечних навантажень для кінцевої балки.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які навантаження діють на кінцеву балку мостового крану?
2. Чому для визначення зусиль в кінцевій балці мостового крану використовуються епюри, а не лінії впливу?
3. Як визначаються поперечна сила і згинальний момент в кінцевій балці від вертикальних навантажень?
4. Як визначаються поперечна сила і згинальний момент в кінцевій балці від горизонтальних навантажень?
5. Які найбільш небезпечні місця з максимальними внутрішніми зусиллями є в кінцевій балці від дії вертикальних і горизонтальних навантажень?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 14

Тема заняття: *Компонування поперечного перерізу кінцевої балки мостового крану і перевірка перерізу.*

Мета заняття: розглянути принципи компонування поперечного перерізу кінцевої балки мостового крану, а також алгоритм виконання перевірки скомпанованого поперечного перерізу.

Конструктивно поперечний переріз кінцевої балки мостового крану повністю аналогічний до перерізу головної балки (рис. 18), має коробчасту форму і складається з двох горизонтальних полиць та двох вертикальних стінок, зварених між собою односторонніми зварними швами. Для їх розміщення передбачається звіс $c = 15 \div 20$ мм. Полиці та стінки виконані з листової сталі. Їх розміри й потрібно визначити:

- h_w – висота стінки;
- t_w – товщина стінки;
- b_f – ширина полиці;
- t_f – товщина полиці.

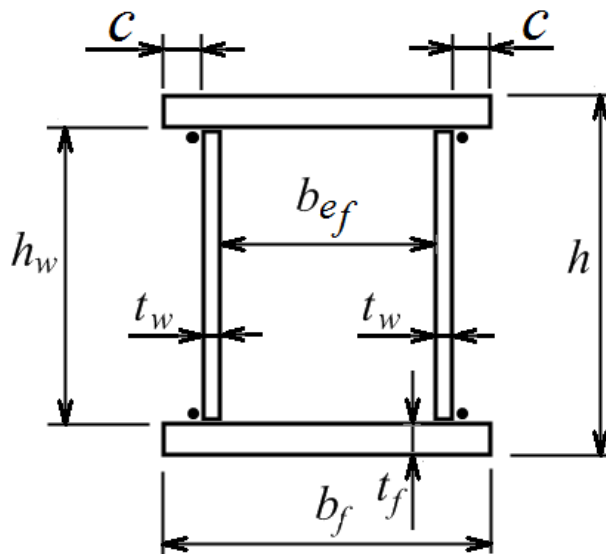


Рис. 18. Переріз кінцевої балки.

Визначення розмірів поперечного перерізу кінцевої балки починають з призначення висоти стінки, яку приймають рівною висоті стінки головної балки на опорі $h_w = h_{w0} = 340$ мм = 34 см.

Товщину поясів також приймають рівними товщині поясів головної балки $t_f = 16$ мм = 1,6 см. Це дає можливість конструктивно з'єднати головну та кінцеву балки.

Товщина стінки приймається більшою за значення

$$t_w = 0,01 \cdot h_{w0} \cdot \sqrt{\frac{21}{R_y}} = 0,01 \cdot 340 \cdot \sqrt{\frac{21}{19}} = 3,6 \text{ мм.}$$

За сортаментом прокатної сталі, який наведений в додатку А до даних навчально-методичних рекомендацій, остаточно приймаємо $t_w = 6 \text{ мм} = 0,6 \text{ см}$.

Ширину поясу приймають більшою за необхідну мінімальну відстань для розміщення коліс крана d , яка наведена в табл. 14.

Таблиця 14

Мінімальні відстані між внутрішніми стінками кінцевої балки

Вантажопідйомність крана Q , т	Відстань b_{ef} , мм
5; 8	240
10; 12,5	315
16; 20	350
32; 50	390

Відповідно до заданих вихідних даних для вантажопідйомності крана $Q = 16 \text{ т}$ за цією таблицею $b_{ef} = 350 \text{ мм}$. Тоді мінімальна ширина поясу становить

$$b_{f \text{ min}} = b_{ef} + 2 \cdot t_w + 2 \cdot c = 350 + 2 \cdot 9 + 2 \cdot 15 = 398 \text{ мм.}$$

За сортаментом прокатної сталі приймаємо найближчу більшу ширину поясу $b_f = 400 \text{ мм} = 40 \text{ см}$.

Скомпонований таким чином поперечний переріз кінцевої балки з усіма прийнятими розмірами зображено на рис. 19.

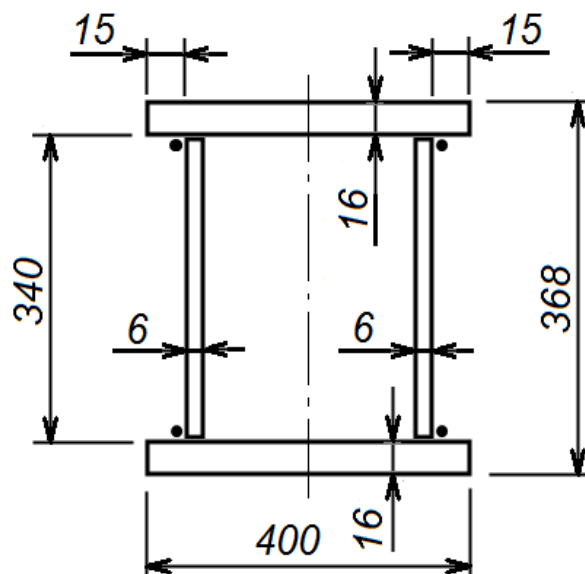


Рис. 19. Скомпонований переріз кінцевої балки.

Для кінцевої балки достатньо виконати з восьми лише три **перевірки на вимоги** ДБН В.2.6-198:2014 [5].

1. Міцність за приведеними напруженнями перевіряється по довжині балки в точці прикріплення головної балки, а в перерізі балки – в місцях з'єднання стінок та поясів між собою. При цьому, як і у випадку перевірки для головної балки, враховується сумісна дія вертикальних і горизонтальних навантажень. Розрахунковий вираз має вигляд

$$\begin{aligned} & \frac{0,87}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot \sqrt{\left(\frac{M_{2m}^v}{W^v} + \frac{M_{2m}^p}{W^p}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_{2m}^v}{h_w \cdot t_w} + \frac{Q_{2m}^p}{(b_f - c) \cdot t_f}\right)^2} = \\ & = \frac{0,87}{19 \cdot 0,8} \cdot \sqrt{\left(\frac{18070}{2618} + \frac{899}{1478}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{149,65}{34 \cdot 0,6} + \frac{7,49}{(40 - 1,5) \cdot 1,6}\right)^2} = 0,77 < 1, \end{aligned}$$

де моменти інерції та опору у вертикальній та горизонтальній площинах для скомпонованого поперечного перерізу кінцевої балки дорівнюють

$$\begin{aligned} I^v &= 2 \cdot \left[\frac{t_w \cdot h_w^3}{12} + \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + b_f \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_w + t_f}{2}\right)^2 \right] = \\ &= 2 \cdot \left[\frac{0,6 \cdot 34^3}{12} + \frac{40 \cdot 1,6^3}{12} + 40 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{34 + 1,6}{2}\right)^2 \right] = 44513 \text{ см}^4; \\ W^v &= \frac{2 \cdot I^v}{h_w} = \frac{2 \cdot 44513}{34} = 2618 \text{ см}^3; \\ I^p &= 2 \cdot \left[\frac{t_f \cdot b_f^3}{12} + \frac{h_w \cdot t_w^3}{12} + h_w \cdot t_w \cdot \left(\frac{b_f - t_w}{2} - c\right)^2 \right] = \\ &= 2 \cdot \left[\frac{1,6 \cdot 40^3}{12} + \frac{34 \cdot 0,6^3}{12} + 34 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{40 - 0,6}{2} - 1,5\right)^2 \right] = 30582 \text{ см}^4; \\ W^p &= \frac{2 \cdot I^p}{b_f} = \frac{2 \cdot 30582}{40} = 1529 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

а коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 0,8$ для кінцевої балки.

Таким чином, дана умова виконана.

Допускається перенапруження в межах **2 %**. Невиконання цієї перевірки свідчить про необхідність збільшення товщини стінки або ширини поясу.

2. Місцева стійкість поясу балки перевіряється за величиною умовної гнучкості поясу

$$\bar{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{35,8}{1,6} \cdot \sqrt{\frac{19}{20600}} = 0,68 < 1,5;$$

де відстань між внутрішніми гранями стінок перерізу дорівнює

$$b_{ef} = b_f - 2 \cdot c - 2 \cdot t_w = 40 - 2 \cdot 1,5 - 2 \cdot 0,6 = 35,8 \text{ см.}$$

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно збільшити товщину поясу балки.

3. Місцева стійкість стінки балки перевіряється за величиною умовної гнучкості стінки

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{34}{0,6} \cdot \sqrt{\frac{19}{20600}} = 1,72 < 2,2.$$

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно збільшити товщину стінки балки.

Остаточний переріз відповідає зображеному на рис. 19.

Якщо поперечний переріз кінцевої балки змінювався в ході цих перевірок, то його додатково зображують на рис. 19,а.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Яку форму і чому має поперечний переріз головної балки мостового крану?
2. Як визначаються висота і товщина стінки кінцевої балки мостового крану?
3. Як визначаються ширина і товщина полиці кінцевої балки мостового крану?
4. Яким умовам відповідно до чинної нормативної бази має відповідати кінцева балка мостового крану?
5. За яким виразом перевіряється міцність за приведеними напруженнями кінцевої балки мостового крану?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 15

Тема заняття: *Компонування креслення несучих елементів мостового крану.*

Мета заняття: розглянути принципи компонування креслення основних несучих елементів мостового крану – головної і кінцевої балок.

Креслення основних несучих елементів мостового крану виконується на листі формату А2 (розміри 594×420 мм) в стадії КМ. Загальне компонування листа наведено на рис. 20.

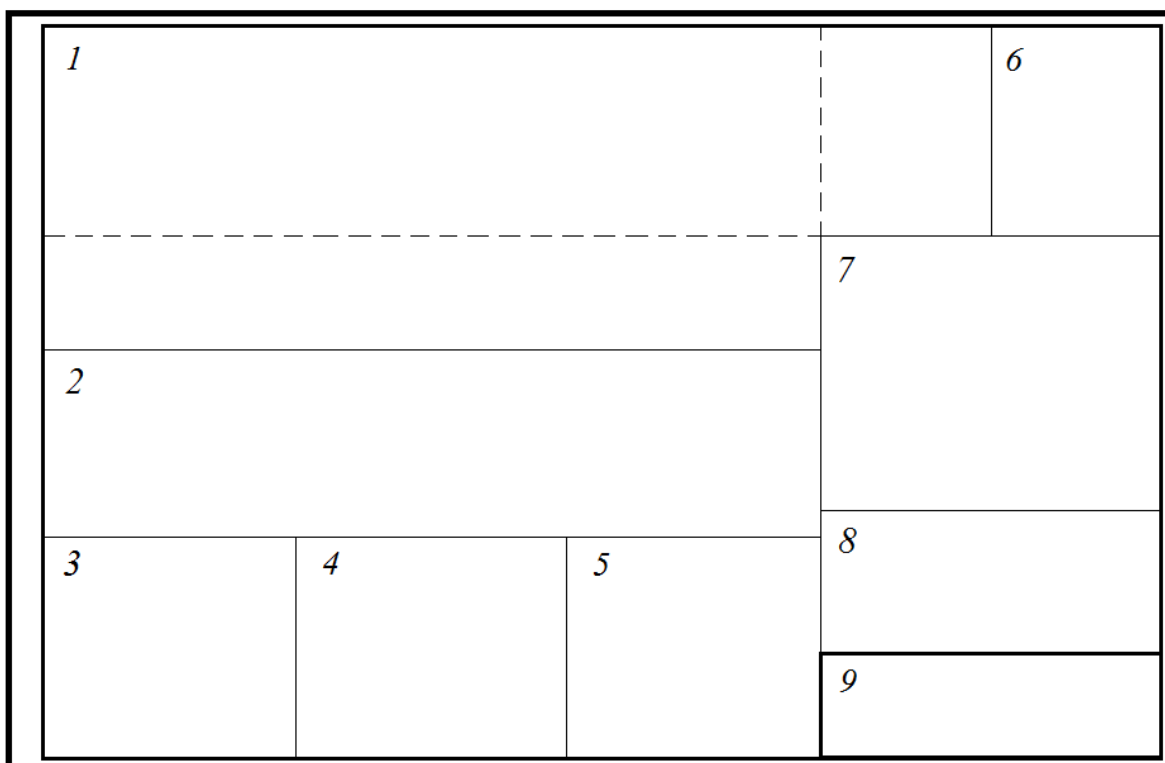


Рис. 20. Загальне компонування креслення.

На цьому листі у відповідних полях зображують наступні елементи:

- 1 – схема розташування елементів крану з двома видами;
- 2 – головна балка (до лінії симетрії);
- 3 – переріз 1-1 головної балки на опорі;
- 4 – переріз 2-2 головної балки в місці розташування основних діафрагм;
- 5 – переріз 3-3 кінцевої балки;
- 6 – поперечний переріз 4-4 моста крана;
- 7 – вид зверху вузла з'єднання балок;
- 8 – примітки;
- 9 – штамп.

Положення полів на листі має витримуватись як зображено на рис. 20.

Всі креслення на листі виконуються в масштабі, проте сам масштаб не вказується. Для креслень металоконструкцій використовують наступні масштаби – 1:2, 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25, 1:40, 1:50, 1:75, 1:100, 1:200, 1:400, 1:500.

Поля на листі заповнюються наступним чином.

1. Схема розташування елементів крану викреслюється за рис. 2.
2. На кресленні головної балки зображують діафрагми жорсткості, позначається розмірами їх місце розташування, вказується зварний шов, наносяться місця перерізів, проставляються всі необхідні розміри.
3. Переріз 1-1 викреслюється за рис. 15 (праворуч).
4. Переріз 2-2 викреслюється за рис. 15 (ліворуч), на якому зображують основну діафрагму жорсткості. Її не доводять до нижнього поясу на 50 мм. Товщину діафрагми приймають конструктивно рівною товщині стінки головної балки. В верхній частині під рейкою для візка діафрагму не приварюють на відстані $114+2 \cdot t_f$ мм, про що зазначають в примітках.
5. Переріз 3-3 викреслюється за рис. 19 або рис. 19,а.
6. Переріз 4-4 викреслюється за рис. 5.
7. Вузол з'єднання головної і кінцевої балок виконується зварним на накладках (практичне заняття № 16).
8. Примітки узагальнюють вказівки по виготовленню елементів мостового крану. Рекомендується наводити типові примітки за табл. 15.
9. Штамп заповнюють за формою, прийнятого зразку (наприклад, наведеної на рис. 21).

Всі підписи на листі виконуються шрифтами. При цьому використовують шрифти трьох розмірів:

- розмір 3,5 для простановки всіх розмірів і текстових пояснень (поля 1 – 7), заповнення штампу (поле 9);
- розмір 5 для нумерації перерізів (поля 1, 2), запису приміток (поле 8);
- розмір 7 для підпису перерізів, видів (поля 1 – 7).

Всі креслення виконуються з використанням ліній двох товщин:

- основна (0,5 – 1 мм) для зображення видимого контуру елементів і креслення таблиць;
- тонка (0,1 – 0,3 мм) для зображення всіх інших елементів та постановки розмірів.

Приклад оформленого креслення основних несучих елементів мостового крану наведено на рис. 22.

Типові примітки до креслень металоконструкцій

№ пор.	Текст примітки
Основні	
1.	Матеріал конструкцій – сталь класу С... за ДСТУ ..., конструкцій огороження – СтЗкп2 за ДСТУ 2651.
2.	Всі заводські з'єднання зварні. Зварювання виконувати електродами типу ...
3.	Катет неоговорених зварних швів ... мм.
4.	Кромки діафрагм, що примикають до верхнього поясу головних балок, на довжині підшви рейки плюс дві товщини поясу ... мм не приварювати.
5.	Сталеві конструкції запроєктовані відповідно до діючих норм ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування».
Додаткові	
6.	Виготовлення і монтаж конструкцій виконувати відповідно до діючих технічних умов.
7.	Креслення металоконструкції розроблені на основі технічного завдання.
8.	Заходи щодо захисту сталевих конструкцій від корозії виконувати відповідно до діючих норм ДСТУ EN 1080.
9.	Після виготовлення сталеві конструкції відгрунтувати та пофарбувати масляною фарбою за 2 рази.

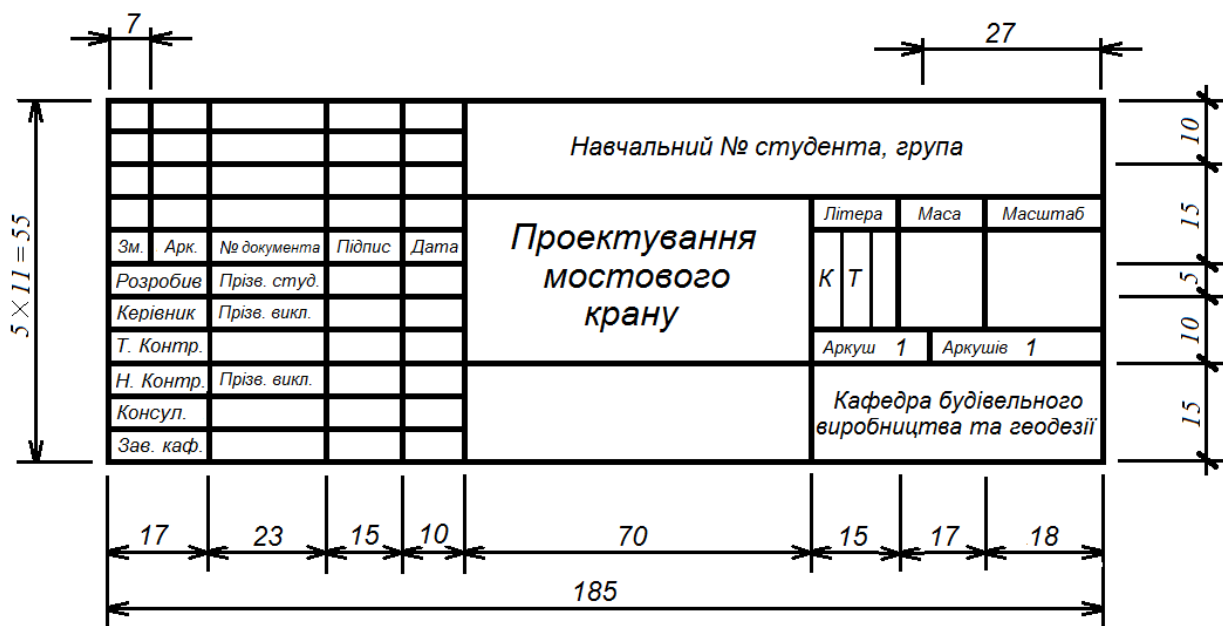


Рис. 21. Форма для штампу.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. З яких полів складається креслення несучих елементів мостового крану?
2. Які масштаби використовують для креслення металоконструкцій?
3. Які шрифти мають використовуватись на кресленнях металоконструкцій?
4. Які лінії мають використовуватись на кресленнях металоконструкцій?
5. Які типові примітки існують до креслень металоконструкцій?

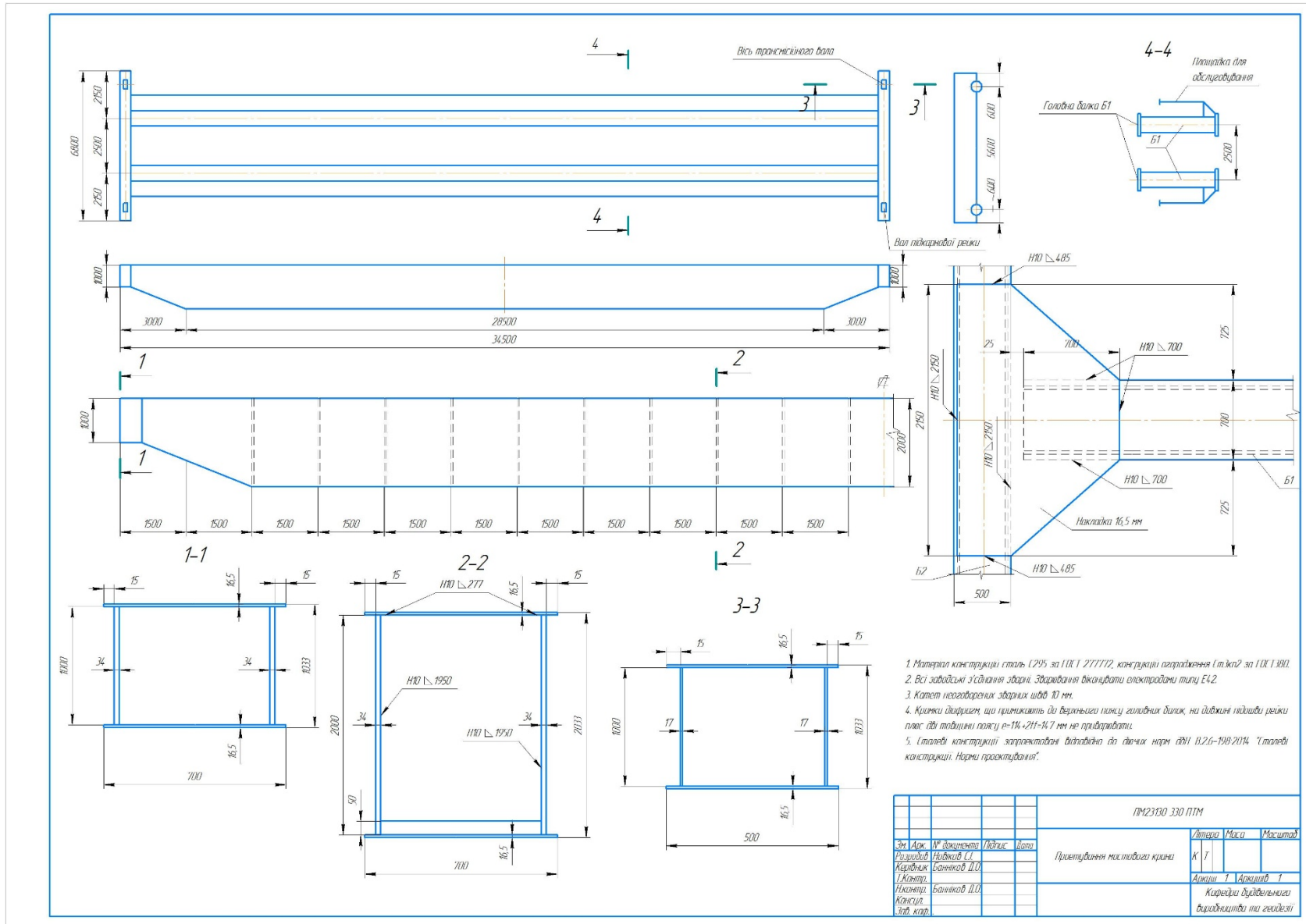


Рис. 22. Приклад оформлення креслення основних несучих елементів мостового крану.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 16

Тема заняття: *Конструювання вузла з'єднання головної та кінцевої балок мостового крану.*

Мета заняття: розглянути послідовність конструювання вузла з'єднання основних несучих елементів мостового крану – головної і кінцевої балок.

Вузол з'єднання головної і кінцевої балок мостового крану є одним з найбільш відповідальних конструктивних елементів моста крану. Він передає значні навантаження як статичні, так і динамічні. Виконання цього вузла виконується під час монтажу мостового крану в місці його подальшої експлуатації, тому від правильного конструювання вузла залежить в тому числі і можливості його якісного виконання.

Сам вузол виконується зварним на накладках, які розміщують по верхній і нижній площинах головної і кінцевої балок, а також по бокових площинах. В практиці проєктування накладки розраховують на вимоги чинного ДБН В.2.6-198:2014 [5], проте з навчальною метою виконання вузла будемо виконувати конструктивно. Причому розглянемо конструювання тільки верхньої найбільш відповідальної накладки. Процес конструювання виконується поетапно в наступній послідовності:

- 1) на осях прокреслюють головну і другорядну балки, між якими залишають зазор 20 – 30 мм. Розміри поперечних перерізів приймають для головної балки за рис. 15 (праворуч), а для кінцевої балки – за рис. 19 або рис. 19,а.
- 2) накладкою об'єднують вузол, заводячи її на головну балку на відстань ширини балки. Товщину накладки приймають рівною товщині поясів головної і кінцевої балок.
- 3) скос накладки приймають під кутом 45° , отримуючи таким чином ширину накладки на другорядній балці;
- 4) розставляють необхідні розміри головної і кінцевої балок, а також розміри самої накладки;
- 5) розставляють маркування зварних швів. Катет шва приймають за розрахунком, виконаним на практичному занятті № 12.

Сконструйований таким чином вузол з'єднання головної і кінцевої балки наведений на рис. 23.

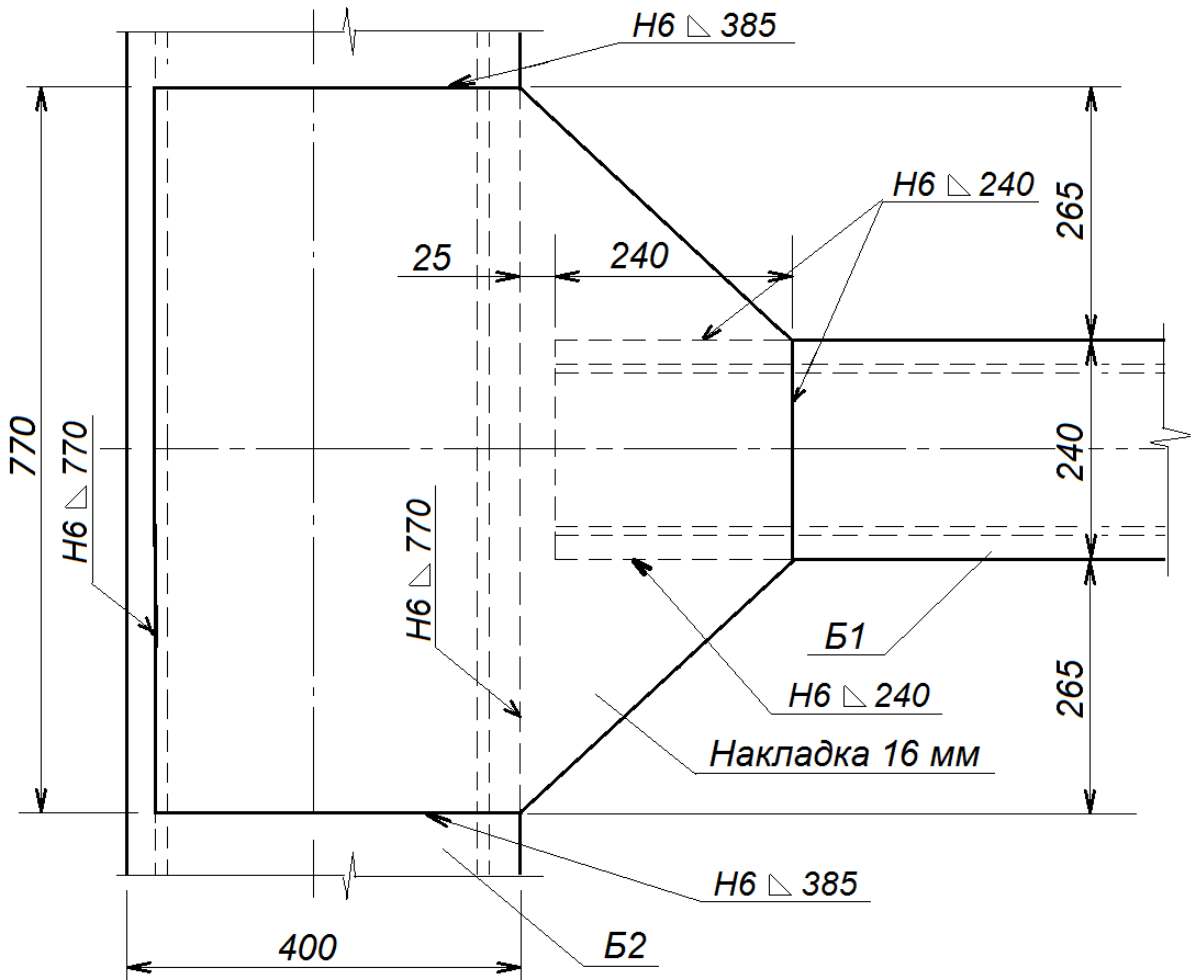


Рис. 23. Вузол з'єднання головної і кінцевої балок мостового крану.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Яке призначення вузла з'єднання головної і кінцевої балок мостового крану?
2. З яких конструктивних елементів складається вузол з'єднання головної і кінцевої балок мостового крану?
3. З чого починається процес конструювання вузла з'єднання головної і кінцевої балок мостового крану?
4. Як визначаються форма і розміри накладки в вузлі з'єднання головної і кінцевої балок мостового крану?
5. Як маркуються зварні шви на кресленні вузла з'єднання головної і кінцевої балок мостового крану?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Жигулін О. А., Махмудов І. І., Жигуліна Н. О. Підйомно-транспортні машини : навч. посіб. Ніжин : Ніжинський агротехнічний інститут, 2020. 150 с.
2. Мартовицький Л. М., Глушко В. І., Клименко Г. В. Атлас металоконострукцій ПТМ : навч. посіб. / за ред. канд. техн. наук, доц. Л. М. Мартовицького ; Нац. ун-т «Запоріж. політехніка». Запоріжжя : Національний університет «Запорізька політехніка», 2019. 222 с.
3. Атлас конструкцій підйомно-транспортних машин : навч. посіб. / В. О. Білостоцький та ін. Харків : ХНТУСГ, 2008. Ч. I : Крани і кранові механізми. 2008. 100 с.
4. Мартовицький Л. М., Глушко В. І. Курсове проектування металоконострукцій : навч. посіб. Запоріжжя : Кругозір, 2016. 418 с.
5. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі Зміною № 1. На заміну ДСТУ Б В.2.6-194:2013 та ДБН В.2.6-163:2010 у частині розділу 1 ; чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 220 с.
6. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі Змінами № 1 та № 2. На заміну СНиП 2.01.07-85 (за винятком розділу 10) ; чинний від 2020-06-01. Вид. офіц. Київ : М-во регіон. розвитку та буд-ва України, 2020. 70 с.
7. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Зміна № 1. Чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. Київ : М-во розвитку громад та територій України, 2022. 15 с.
8. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зміна № 1. Чинний від 2007-10-01. Вид. офіц. Київ : М-во регіон. розвитку та буд-ва України, 2007. 2 с.
9. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зміна № 2. Чинний від 2020-06-01. Вид. офіц. Київ : М-во розвитку громад та територій України, 2020. 10 с.
10. Сортамент сталевих виробів : довідник / упоряд. Д. О. Банніков ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро : УДУНТ, 2023. 92 с. URL: <https://doi.org/10.15802/978-617-8314-45-3> (дата звернення: 27.12.2024).
11. ДСТУ 8540:2015. Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент. На заміну ГОСТ 19903-74 ; чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 11 с.
12. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. На заміну ДБН В.2.6-163:2010 у частині розділу 1 та ДСТУ Б В.2.6-194:2013 ; чинний від 2015-01-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 205 с.

ДОДАТОК А

Сортамент листової гарячекатаної сталі

Таблиця А.1

Прокат листовий (вибірка за ДСТУ 8540:2015 [11])

Товщина, мм	Ширина, мм
4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5 8,0 8,5 9,0 9,5	
10,0 10,5 11,0 11,5 12,0 12,5 13,0 13,5 14,0 14,5 15,0 15,5 16,0 16,5	500 510 600 650 670 700 710 750 800 850 900 950
17,0 17,5 18,0 18,5 19,0 19,5 20,0 20,5 21,0 21,5 22,0 22,5 23,0 23,5	1000 1100 1250 1400 1420 1500 1600 1700 1800 1900 2000
24,0 24,5 25,0 25,5 26 27 28 29 30 31 32	2100 2200 2300 2400 2500 2600 2700 2800 2900 3000
34 36 38 40 42 45 48 50 52 55 60 62 65 68 70 72 75 78 80 82	3200 3400 3600 3800 4000 4200 4400
85 87 90 92 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160	

Таблиця А.2

Прокат широкоштабовий універсальний (тимчасовий за ГОСТ 82-70*)

Товщина, мм	Ширина, мм
6 7 8 9	200 210 220 240 250 260 280 300 320 340 360 380
10 11 12 14 16 18	400 420 450 460 480 500 520 530 560
20 22 25 28	600 630 650 670 700 750 800 850 900 950
30 32 36	1000 1050
40 45 50 55 60	

Навчально-методичне видання

Банніков Дмитро Олегович

ПРОЄКТУВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ МАШИН

Навчально-методичні рекомендації до практичних занять

Електронне видання

Експертний висновок склала канд. техн. наук, доц. Наталія Нікіфорова

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 1.813 від 04.02.2025)

В авторській редакції
Комп'ютерна верстка Д. О. Банніков

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 3,72. Обл.-вид. арк. 3,76.

Зам. № 14.

Видавець: Український державний університет науки і технологій.
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022