

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

«Допустити до захисту»

Завідувач кафедри БДМБ,
кандидат технічних наук, професор

Владислав НАСТОЯЩИЙ

" ____ " _____ 2024 р.

Кваліфікаційна магістерська робота

на тему: **ПРОЄКТУВАННЯ ВУЗЛІВ КРІПЛЕННЯ
ДРУГОРЯДНИХ БАЛОК НА БОЛТАХ
НОРМАЛЬНОЇ ТОЧНОСТІ**

Виконав: здобувач освіти групи БІ-23Мз
спеціальності 192
«Будівництво та цивільна інженерія»

Ростислав НЄДЕЛКОВ

" ____ " _____ 2024 р.

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи:
кандидат технічних наук, доцент

Микола ПАШИНСЬКИЙ

" ____ " _____ 2024 р.

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Сформульовані передумови, встановлені загальні вихідні дані, розроблений і реалізований у формі розрахункового бланку Microsoft Excel алгоритм розрахунку та конструювання вузлів бічного кріплення другорядних балок до ребер жорсткості головної балки на болтах нормальної точності. Розрахунковий бланк передбачає визначення необхідної кількості болтів діаметром 16, 20, 24, 30, 36 мм класів міцності 5.6, 8.8, 10.9, 12.9.

За розробленою методикою виконані розрахунки болтових з'єднань бічного кріплення 12 швелерів та 16 двотаврів з ухилом полицок до поперечних ребер жорсткості головних балок. Для кожного профілю розраховано 20 варіантів вузла (болти п'яти діаметрів та чотирьох класів міцності). Більша частина з 560 розглянутих комбінацій профілю балок, класу міцності та діаметра болта не можуть бути реалізовані унаслідок неможливості однорядного розміщення болтів, або є нераціональними, оскільки існують варіанти з такою ж кількістю болтів меншого діаметра чи нижчого класу міцності. Можливими для виконання є 356 варіантів вузлів, а 73 з них можна вважати раціональними.

З ростом висоти профілю збільшується кількість раціональних рішень вузлів, максимальний діаметр та клас міцності болтів, які доцільно використовувати у вузлах кріплення. Усі швелери можна прикріпити 2...8 болтами діаметром 16...24 мм, а двотаври – 2...12 болтами діаметром 16...36 мм. Болти класу міцності 10.9 доцільно використати лише в одному варіанті кріплення двотавра номер 60, а використання болтів класу 12.9 є повністю нераціональним. У переважній більшості вузлів необхідна кількість болтів визначається з умови зминання стінок отворів і тільки у вузлах прикріплення великих профілів з товщиною стінки 7 мм і більше вирішальною умовою може стати зріз болтів. Варіанти кріплення двотаврів та швелерів однієї висоти практично співпадають між собою.

Практичним результатом дослідження є таблиці, які дозволяють попередньо вибрати конструкцію болтового з'єднання з урахуванням профілів балок та уніфікації болтів у межах конструктивного комплексу, що проектується.

ANNOTATION

The prerequisites are formulated, the general output data are established, the algorithm for calculation and construction of lateral fastening nodes of secondary beams to the stiffeners of the main beam on bolts of normal accuracy is developed and implemented in the form of a Microsoft Excel spreadsheet. The calculation form provides for determining the required number of bolts with a diameter of 16, 20, 24, 30, 36 mm of strength classes 5.6, 8.8, 10.9, 12.9.

According to the developed methodology, the calculations of the bolted connections of the lateral fastening of 12 channels and 16 I-beams with inclined shelves to the transverse stiffeners of the main beams were performed. For each profile, 20 node options are calculated (bolts of five diameters and four strength classes). Most of the 560 considered combinations of beam profile, strength class and bolt diameter cannot be implemented due to the impossibility of single-row placement of bolts, or are irrational because there are options with the same number of bolts of smaller diameter or lower strength class. There are 356 node variants possible, and 73 of them can be considered rational.

As the height of the profile increases, the number of rational node solutions, the maximum diameter and strength class of bolts, which should be used in fastening nodes, increases. All channels can be attached with 2...8 bolts with a diameter of 16...24 mm, and I-beams - with 2...12 bolts with a diameter of 16...36 mm. It is advisable to use bolts of strength class 10.9 only in one version of fastening the number 60 I-beam, and the use of bolts of class 12.9 is completely irrational. In the vast majority of nodes, the required number of bolts is determined from the condition of crumpling the walls of the holes, and only in the nodes of attachment of large profiles with a wall thickness of 7 mm or more, the cut of the bolts can be a decisive condition. Options for attaching I-beams and channels of the same height are practically the same.

The practical result of the research are tables that allow you to pre-select the design of the bolted connection, taking into account the profiles of the beams and the unification of the bolts within the structural complex being designed.

З М І С Т

Вступ.....	3
 Розділ 1 КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ	
БАЛКОВИХ КЛІТОК	6
1.1 Загальна характеристика балкових кліток.....	6
1.2 Компоновка та конструктивні рішення вузлів з'єднання балок	11
1.3 Види болтів та конструкція болтових з'єднань	15
1.4 Розрахунок з'єднань на болтах, що працюють на зріз.....	17
1.5 Висновки з бібліографічного огляду та завдання досліджень	19
 Розділ 2 МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ БІЧНОГО	
ПРИКРІПЛЕННЯ ПРОКАТНИХ БАЛОК НА БОЛТАХ	
НОРМАЛЬНОЇ ТОЧНОСТІ.....	21
2.1 Завдання, передумови та вихідні дані для розрахунку	21
2.2 Порівняння несучої здатності болтових з'єднань за умовами зрізу болтів та зминання стінок отворів	23
2.3 Алгоритм розрахунку болтів у вузлах прикріплення прокатних балок та його програмна реалізація	27
2.4 Інтерпретація результатів розрахунку та приклади конструювання вузлів	31
2.5 Висновки з розділу	37
 Розділ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ БОЛТОВИХ	
З'ЄДНАНЬ У ВУЗЛАХ БІЧНОГО ПРИМИКАННЯ БАЛОК	
3.1 Завдання проєктування та вихідні дані.....	39
3.2 Результати варіантного проєктування	42
3.3 Аналіз результатів експериментального проєктування вузлів.....	45
3.4 Рекомендації щодо проєктування вузлів бічного примикання прокатних двотаврів та швелерів	50
3.5 Висновки з розділу	53

					КМР 2319218 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Неделков Р.А.			Проекткування вузлів кріплення другорядних балок на болтах нормальної точності	Літ.	Арк.	Акрцвів
Перевірів		Пашинський М.В.					1	77
Реценз.						ЦНТУ гр. БІ-23Мз		
Н. Контр.		Дарієнко В.В						
Затвердив		Настоящий В.А						

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ	54
GENERAL CONCLUSIONS ACCORDING TO RESEARCH RESULTS	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58
Додаток А РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ БОЛТОВИХ З'ЄДНАНЬ	61
Додаток Б Заходи з охорони праці при монтажі сталевих конструкцій.....	69
Б.1. Організація праці при виконанні монтажних робіт	69
Б.2. Вимоги безпеки при виконанні монтажних робіт	72
Б.3. Розрахунок заземлення баштового крана	74
Додаток В Ілюстраційні матеріали (мультимедійна презентація)	77

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		2

ВСТУП

Актуальність теми. Покриття й перекриття будівель різного призначення, робочі площадки одноповерхових виробничих будівель та інші споруди часто виконуються у вигляді сталевих балкових кліток. При бічному примиканні стінка другорядної балки чи балки настилу зазвичай прикріплюється до ребра жорсткості головної балки болтами нормальної точності (клас точності В). Несуча здатність такого з'єднання яких визначається зрізом болта і зминанням стінок другорядних балок чи ребер жорсткості головних балок.

Методи розрахунку та конструювання з'єднань на болтах викладені в чинних нормах проектування ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції". Ці норми дозволяють при проектуванні з'єднання використовувати болти різних діаметрів та класів міцності, але не містять рекомендацій щодо вибору раціонального класу міцності та діаметра болтів нормальної точності, які працюють на зріз. Відсутність таких рекомендацій обумовлює актуальність обраної теми магістерської роботи.

Мета дослідження: розробити рекомендації щодо вибору класу міцності та діаметра болтів нормальної точності для бічного прикріплення прокатних балок до поперечних ребер жорсткості головних балок у вузлах сталевих балкових кліток.

Для досягнення поставленої мети потрібно реалізувати такі **завдання досліджень:**

1. Шляхом аналізу розрахункових формул виконати теоретичне оцінювання оптимального класу міцності болтів з умови вирівнювання несучої здатності за зрізом болта і за зминанням стінок отворів у з'єднуваних елементах.
2. Розробити методику розрахунку та конструювання з'єднань на болтах нормальної точності при бічному примиканні другорядних балок чи балок настилу до головних балок та реалізувати її в середовищі Microsoft Excel.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						3
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

3. Шляхом експериментального проектування з використанням розробленого в середовищі Microsoft Excel розрахункового бланку визначити кількості болтів нормальної точності різних діаметрів і класів міцності, необхідні для бічного прикріплення прокатних двотаврів та швелерів з ухилом полицок до поперечних ребер жорсткості головних балок з урахуванням можливості їх однорядного розміщення в межах стінки другорядної балки.
4. З результатів варіантного проектування вибрати раціональні комбінації діаметра, класу міцності та кількості болтів нормальної точності, необхідної для прикріплення прокатних двотаврів балкового типу з паралельними гранями полицок до ребер жорсткості головних балок.
5. Шляхом аналізу отриманих результатів виявити закономірності вибору раціональних класів міцності, діаметрів і необхідної кількості болтів нормальної точності залежно від профілю прокатних балок.
6. Розробити рекомендації щодо вибору діаметра й класу міцності болтів нормальної точності для з'єднань балок у вузлах сталевих балкових кліток та проілюструвати їх прикладами проектування характерних вузлів.

Об'єкт дослідження: проектування вузлів бічного прикріплення прокатних балок до поперечних ребер головних балок з вибором раціонального діаметра та класу міцності болтів нормальної точності.

Предмет дослідження: несуча здатність болтових з'єднань на болтах нормальної точності різного діаметра та класу міцності.

Методи дослідження: варіантне проектування болтових вузлів бічного прикріплення прокатних балок до ребер жорсткості.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- 1) встановлені залежності між несучою здатністю з'єднань на болтах нормальної точності за критеріями зрізу болта і зминання стінок отворів;
- 2) розроблена методика варіантного проектування болтових з'єднань, яка забезпечує можливість вибору раціонального діаметра і класу міцності болтів у вузлах бічного обпирання прокатних балок;

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

3) встановлено, що переважна більшість балок з прокатних двотаврів та швелерів може прикріплюватися болтами класу точності В класів міцності 5.6 і 8.8 діаметром 16...36 мм, який зростає при збільшенні висоти профілю.

Практичне значення одержаних результатів:

- 1) в середовищі Microsoft Excel розроблено розрахунковий бланк, який можна використовувати для проектування вузлів бічного прикріплення прокатних балок до ребер жорсткості головної балки;
- 2) розроблені таблиці, які дозволяють вибрати раціональні значення класу міцності, діаметра та необхідної кількості болтів нормальної точності у вузлах обпирання другорядних балок з прокатних двотаврів та швелерів до поперечних ребер жорсткості головної балки.

Апробація та публікація результатів роботи.

Основні положення магістерської роботи були представлені на IV Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Досвід впровадження у навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій» (м. Кропивницький, 21-22 листопада 2024 р.) та опубліковані в тезах доповіді: Р.А. Неделков, М.К. Юрченко, М.В. Пашинський, З.Б. Аносова. Аналіз болтових вузлів кріплення прокатних балок до ребер жорсткості головної балки. Кропивницький: ЦНТУ, 2024.

Структура роботи. Робота містить 77 сторінок, в тому числі 7 таблиць, 24 рисунки, список з 28 використаних джерел, анотацію українською та англійською мовами, а також мультимедійну презентацію з 21 слайду. Текст роботи містить вступ, 3 розділи, висновки і рекомендації за результатами досліджень, а також три додатки.

Розділ 1

КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ БАЛКОВИХ КЛІТОК

1.1 Загальна характеристика балкових кліток

Сталеві балкові клітки використовуються в покриттях і перекриттях виробничих, громадських та багатоповерхових житлових будівель зі сталевим каркасом, а також в конструкціях робочих майданчиків цехів гірничо-рудної, металургійної та машинобудівної промисловості [13, 15, 16, 19, 22, 24, 25]. На перекриттях громадських і виробничих будівель розміщується обладнання, люди і матеріали, необхідні для реалізації технологічного процесу. На робочих майданчиках одноповерхової виробничої будівлі може розміщуватися виробниче обладнання, люди та матеріали, а також працюючі транспортні засоби.

Загальний вигляд робочого майданчика виробничої будівлі показаний на рисунку 1.1, а більш детальна конструктивна схема – на рисунку 1.2. Система несучих балок сталевого перекриття має назву балкової клітки. Якщо балкова клітка є перекриттям громадської чи багатоповерхової виробничої будівлі, вона опирається на несучі колони каркасу, який має власну систему в'язей.

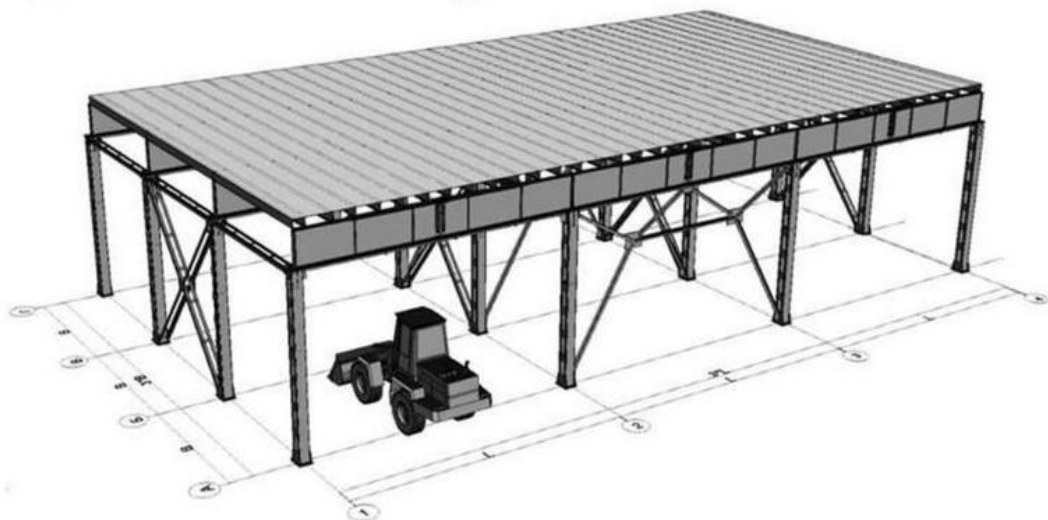


Рис. 1.1 Загальний вигляд робочого майданчика

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		6

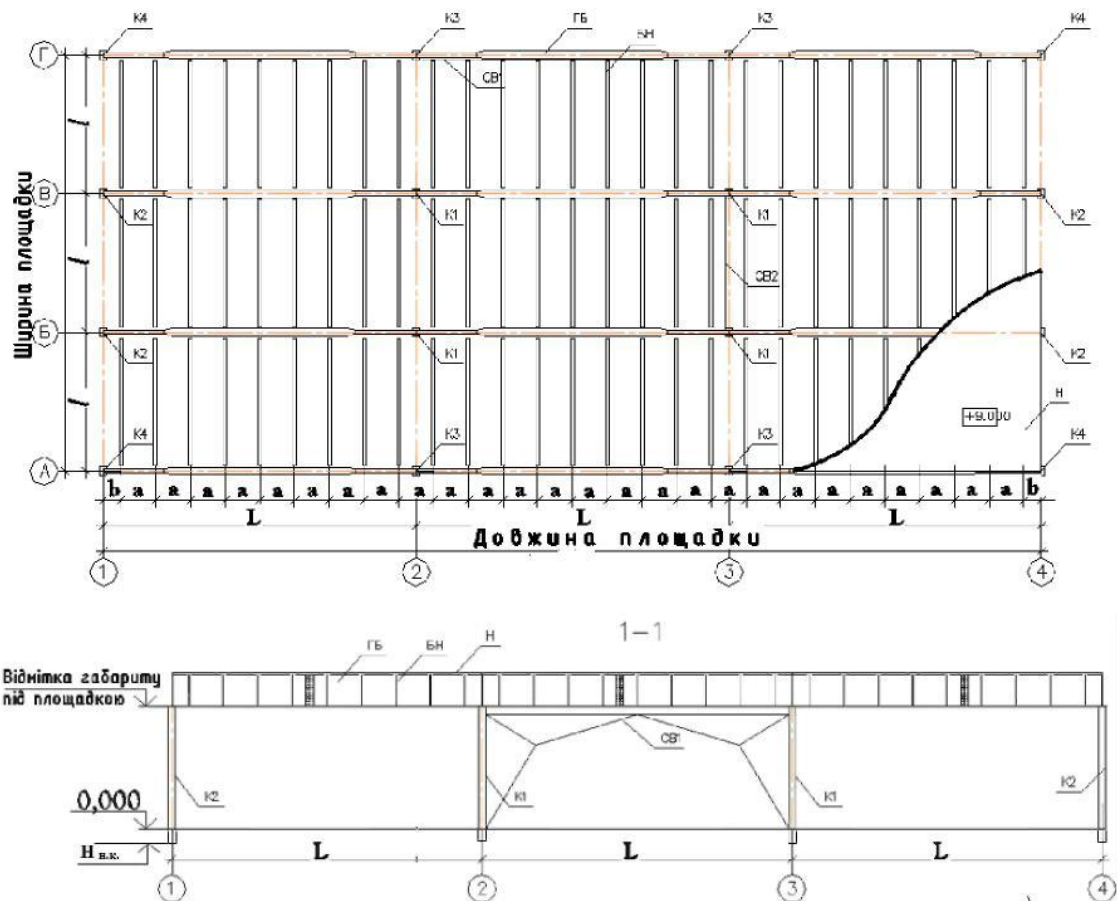


Рис. 1.2 Конструктивна схема робочого майданчика

У якості настилу балкової клітки використовуються плоскі або рифлені сталеві листи, збірні чи монолітні залізобетонні плити. Вибір настилу визначається призначенням перекриття та характером навантажень на них. При наявності динамічних навантажень зазвичай використовується сталевий настил. По настилу може також влаштовуватися чиста підлога, конструкція якої визначається призначенням приміщень.

За загальною компоновкою балкові клітки можуть бути спрощеного, нормального або ускладненого типу, як це показано на рисунку 1.3. Балкові клітки спрощеного типу складаються з настилу та балок настилу, які обпираються безпосередньо на несучі стіни. Балкова клітка нормального типу має головні балки, оперті на колони, на них обпираються балки настилу і вище – сам настил. Проліт і крок головних балок визначається сіткою колон, яка встановлюється при архітектурно-планувальному вирішенні об'єкта.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

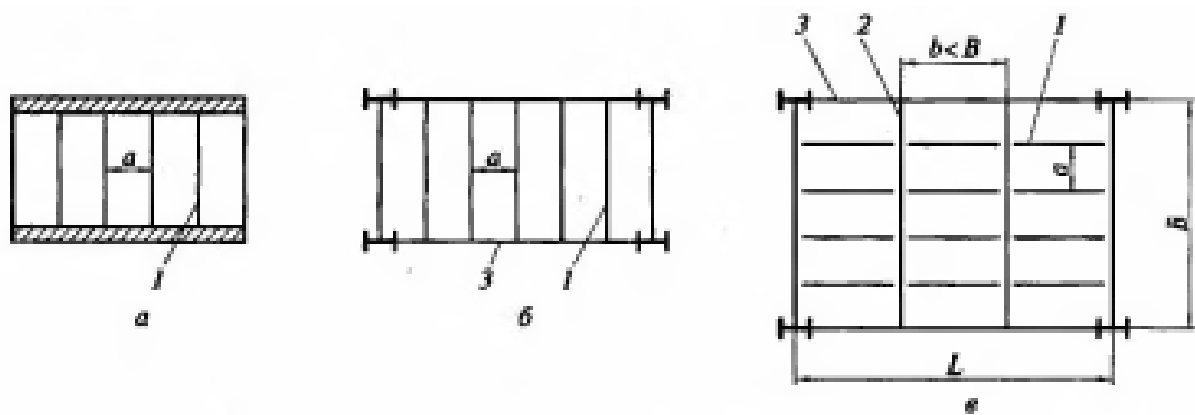


Рис. 1.3 Типи балкових кліток:

- а) – спрощений тип; б) – нормальний тип; в) – ускладнений тип;
1 – балки настилу; 2 – другорядні балки; 3 – головні балки

При великих кроках головних балок балки настилу мають великий проліт, але малий крок, обмежений несучою здатністю настилу. Тому балки настилу можуть підбиратися не за міцністю, а за жорсткістю, що є не вигідним. У цьому випадку кращим рішенням може бути ускладнений тип розкладки балок, у якому на головні балки встановлюються другорядні балки, а вже на них вкладаються балки настилу. Конкретна схема розкладки балок балкової клітки визначається на основі порівняння техніко-економічних показників можливих варіантів.

Приклади загального вигляду балкових кліток нормального та ускладненого типу наведені на рисунку 1.4 за даними різних інтернет-джерел, а також [13, 15, 22].

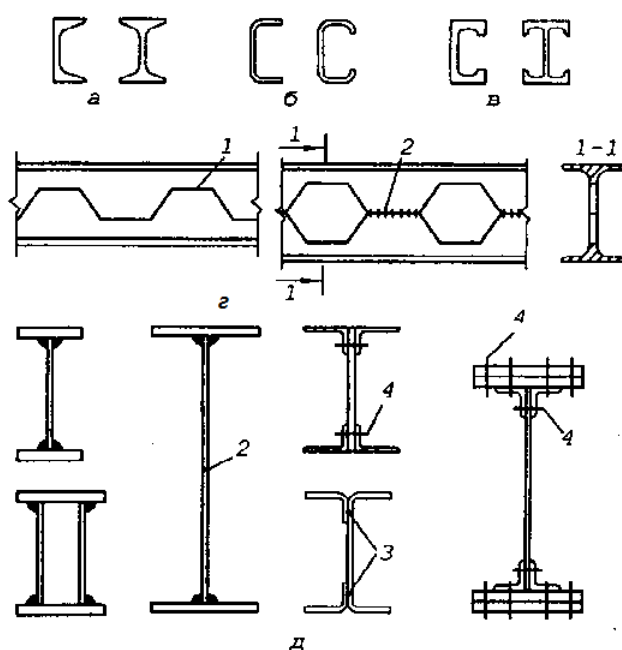


Рис. 1.4 Балкові клітки нормального та ускладненого типу

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		8

Головними елементами балкової клітки є балки, тобто конструктивні елементи, які працюють на згин і довжина яких істотно перевищує розміри поперечного перерізу. Сталеві балки зазвичай проектують двотаврового перерізу, який є найбільш ефективним при роботі на згин, економічним щодо витрат металу і зручним у конструюванні. Легкі балки типу прогонів часто виготовляють зі швелерів. Сталеві балки можуть працювати при прольотах до 20 м і більше, а також при різних значеннях статичних і динамічних навантажень. Залежно від прольоту та навантаження, сталеві балки виготовляють з прокатних чи гнутих профілів, а також складеного перерізу.

На рисунку 1.5 показані схеми поперечних перерізів металевих балок різних типів, які найчастіше використовуються в будівництві. До них належать прокатні двотаври та швелери, пресовані профілі з алюмінієвих сплавів, балки з перфорованою стінкою, зварні та клепані балки двотаврового перерізу, а також двостінчасті балки, які найчастіше використовують в конструкціях мостів, мостових і козлових кранів. Останнім часом в складених балках замість заклепок використовуються високоміцні болти, які забезпечують неподатливі фрикційні з'єднання поясів зі стінкою.



Типи балок:

а – прокатні

б – гнуті

в – пресовані з алюмінієвих сплавів

г – з перфорованою стінкою

д – складеного перерізу (зварна двотаврова, зварна двостінчата, з гнутих профілів, клепана з поясами з кутників, клепана з поясами з пакету смуг)

З'єднання в складених балках:

1 – лінія розрізу;

2 – стиковий шов;

3 – точкове зварювання;

4 – високоміцні болти або заклепки

Рис. 1.5 Поширені перерізи металевих балок:

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		9

Найбільш простими у проектуванні та виготовленні є прокатні балки, до яких відносяться двотаври з ухилом полицок за сортаментом [5], швелери різних типів за [7], та двотаври з паралельними гранями полицок. Проектування прокатних балок виконується за ДБН [4] з урахуванням навантажень згідно з технічним завданням на проектування та ДБН [3], а також гранично допустимих прогинів за ДСТУ [8]. Найчастіше вони розраховуються як однопролітні шарнірно-оперті балки, завантажені рівномірно розподіленим по поверхні перекриття чи покрівлі навантаженням.

При великих прольотах, коли наявні сортаменти прокатних двотаврів і швелерів не забезпечують достатньої несучої здатності, використовують зварні складені балки. Вони дорожчі й більш трудомісткі, ніж прокатні, тому їх використання доцільне лише тоді, коли прокатні профілі не відповідають вимогам міцності, жорсткості чи стійкості. Найбільш поширеними є зварні балки двотаврового перерізу, у яких розподіл матеріалу по перерізу найкраще відповідає ефективній роботі на згин. Прольоти таких балок можуть перевищувати 20...30 м при висоті перерізів понад 2 м.

Використання складених зварних двотаврів дозволяє індивідуально запроектувати кожен балку з урахуванням її прольоту, діючого навантаження, архітектурно-конструктивних вимог та умов експлуатації. Індивідуальне проектування забезпечує отримання конструкцій, оптимальних за витратами сталі та за вартістю. Методики проектування зварних двотаврових балок викладена нижче згідно з вимогами нормативних документів [2, 3, 4, 8] та рекомендаціями навчальної літератури [13, 16, 17, 22].

З метою економії сталі та зменшення вартості за рахунок підвищення несучої здатності використовують ефективні типи балок: бісталеві, попередньо напружені, з тонкостінних холодногнутих профілів, а також балки з перфорованою, гнучкою та гофрованою стінкою, описані в [4, 13, 22]. Ці типи балок дозволяють зменшити витрати сталі, але можуть стати дорожчими за рахунок підвищеної трудомісткості виготовлення.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

1.2 Компоновка та конструктивні рішення вузлів з'єднання балок

Залежно від взаємного розташування по висоті, з'єднання балок настилу та другорядних балок з головними може бути поверховим або в одному рівні (для нормального типу балкової клітки), а також пониженим (для ускладненого типу балкової клітки), як це показано на рисунку 1.6.

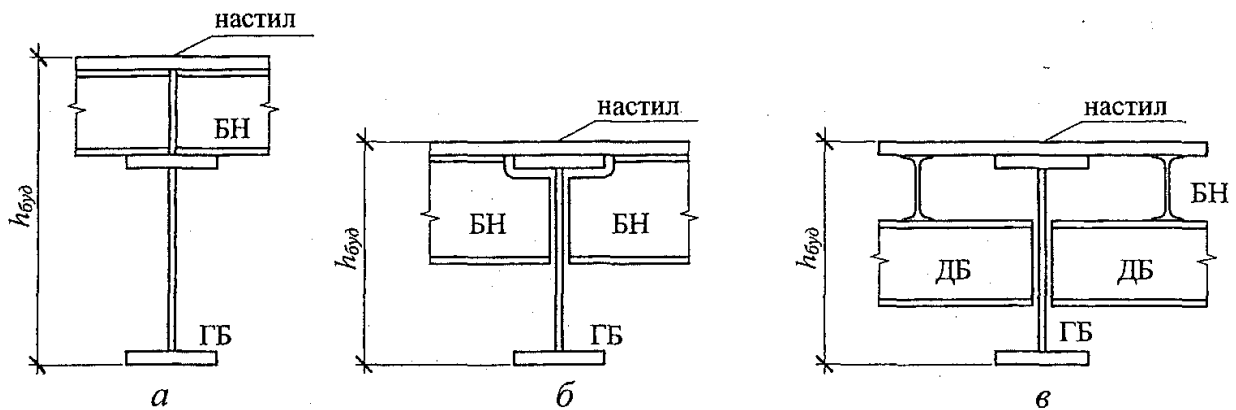


Рис.1.6 Типи сполучення балок у балкових клітках:

а) поверхове; б) в одному рівні; в) понижене

Поверхове та однорівневе з'єднання при ускладненій розкладці балок є не вигідним, оскільки збільшує товщину перекриття та вимагає улаштування додаткової балки настилу над головною балкою. При пониженому з'єднанні настил безпосередньо вкладається на верхню полицку головної балки, що забезпечує загальну стійкість головної балки та зменшує товщину перекриття. Окрім того, понижене з'єднання допоміжної балки з головною дозволяє зробити балки настилу нерозрізними, що зменшує їх перерізи. Зменшується також кількість монтажних одиниць балок настилу та кількість вузлів їх кріплення, які необхідно змонтувати на висоті.

З'єднання балок у балкових клітках здійснюється на монтаж, тому до цих вузлів пред'являються вимоги не лише достатньої несучої здатності, але й зручності монтажу. Окрім того, слід забезпечити технологічність виготовлення балок на заводах металевих конструкцій. Цей комплекс вимог обумовлює широке використання болтових з'єднань балок в конструкціях балкових кліток. Нижче

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		11

описані характерні конструкції вузлів трьох типів: при поверховому, однорівневому та пониженому примиканні балок настилу чи допоміжних балок до головної балки.

При поверховому з'єднанні балка настилу ставиться зверху на головну чи допоміжну балку, як це показано на рисунку 1.7. Балки можуть приварюватися або прикріплюватися болтами. Балки малих перерізів часом прикріплюють самонарізними болтами. В усіх випадках монтажне зварювання або болти служать лише для фіксації взаємного положення балок і не передають опорних реакцій балки настилу чи допоміжних балок. Зазвичай опорна реакція верхньої балки сприймається стінкою нижньої балки, яку слід перевірити на зминання. При значних опорних реакціях стінку нижньої балки підкріплюють поперечними ребрами жорсткості, як це показано на правому рисунку 1.7.

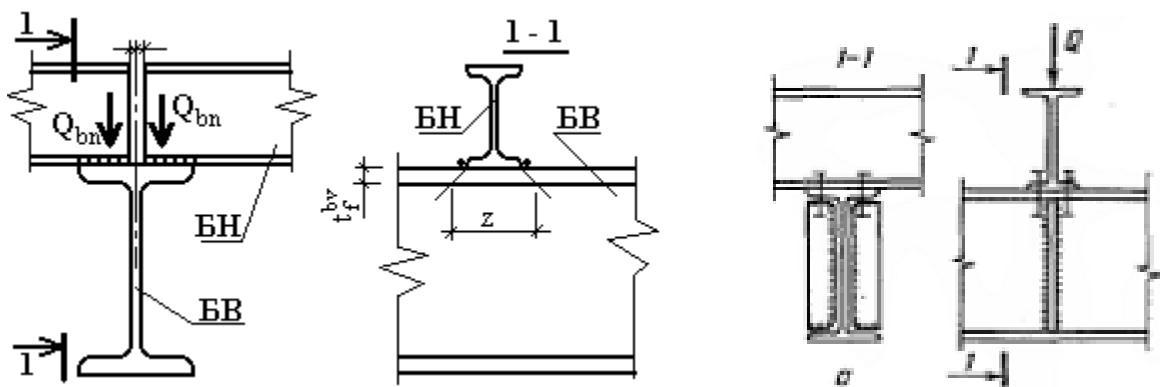


Рис.1.7 Конструкції поверхового з'єднання балок

Класичний варіант з'єднання в одному рівні або пониженого з'єднання балок показаний на рисунку 1.8. Балка настилу прикріплюється до поперечного ребра жорсткості головної балки. Для цього необхідно зрізати обидві полицки балки настилу, щоб плоску ділянку її стінки можна було прикріпити до ребра жорсткості на болтах. При кріпленні до відрізка кутника, як це показано на правому ескізі з рисунка 1.8, достатньо зрізати лише верхню полицку балки настилу. Місце для постановки болтів обмежується висотою плоскої частини стінки балки настилу.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

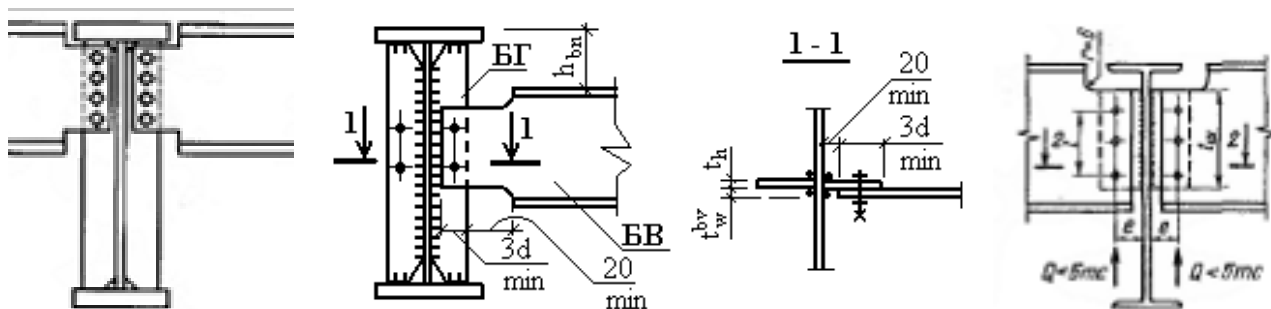


Рис.1.8 Конструкції з'єднання балок в одному рівні з обрізанням полочки

Головним недоліком вузлів, зображених на рисунку 1.8, є необхідність зрізання полочок балок настилу для отримання плоскої ділянки стінки, що збільшує трудомісткість виготовлення балки настилу. Більш технологічним рішенням є приварювання до плоскої частини стінки листової деталі, як це показано у варіанті 1 на рисунку 2.9, або приварювання до торця балки настилу відрізка нерівнополічного кутника, широка полочка якого прикріплюється на болтах до ребра жорсткості головної балки (варіант 2 з рисунка 1.9). По суті додаткові елементи є продовженням стінки балки, але при цьому операція зрізання полочок замінюється простішими операціями обрізання під прямим кутом та напівавтоматичного зварювання.

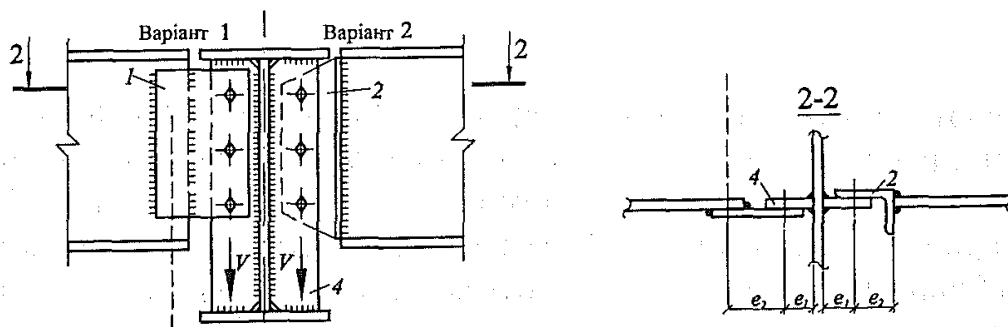


Рис.1.9 Конструкції з'єднання балок в одному рівні без обрізання полочок

За зразком рисунка 1.9 може виконуватися також вузол пониженого обпирання другорядних балок на головні. В обох варіантах кріплення на болтах можна виконати не на ребро жорсткості головної балки, а на відрізок кутника, спеціально привареного до стінки головної балки. Така конструкція вузлів показана на рисунку 1.10.

					KMP 2319218 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		13

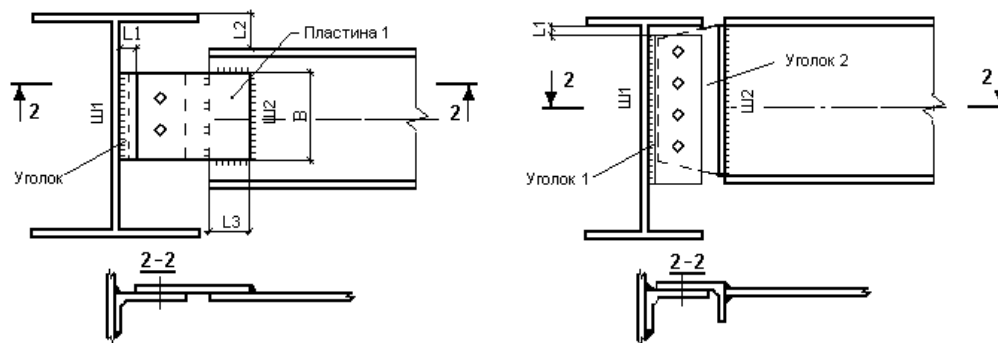


Рис.1.10 Конструкції вузлів з кріпленням балок до відрізка кутника

Переважає більшість вузлів прикріплення балок виконуються на болтах. Зазвичай використовують болти нормальної точності, які працюють на зріз. При дії динамічних навантажень можуть використовуватися фрикційні з'єднання на високоміцних болтах, які мають конструкцію, аналогічну рисункам 1.8...1.10. Перевагою фрикційних з'єднань є їх неподатливість, що дозволяє сприймати вібраційні навантаження від обладнання та транспортних засобів. Загальний вигляд вузлів кріплення балок настилу на болтах показано на рисунку 1.11.

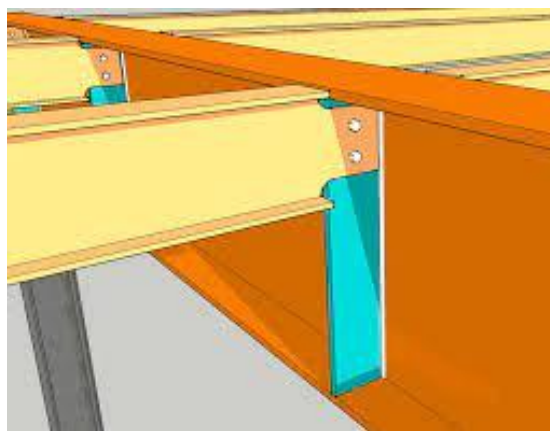


Рис. 1.11 Обпирання балок в одному рівні

В окремих випадках у вузлах, виконаних по типу рисунків 1.8...1.10, може використовуватися монтажне зварювання. Таке рішення часто збільшує несучу здатність вузла, але вимагає забезпечення можливості виконання зварних швів (достатні відстані між суміжними швами та простір для розміщення електродотримача чи зварювальної головки для зварювання в середовищі інертного газу).

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		14

1.3 Види болтів та конструкція болтових з'єднань

Залежно від призначення та напруженого стану, у вузлах з'єднання елементів сталевих конструкцій можуть використовуватися болти таких типів:

- Болти грубої точності (клас точності С) зазвичай використовуються у якості фіксуючих болтів, які не сприймають розрахункових зусиль.
- Болти нормальної точності (клас точності В) використовуються у якості несучих, а з'єднання на них може працювати на зсув або на відрив.
- Болти підвищеної точності (клас точності А) використовуються у якості несучих у а з'єднаннях, які працюють на зсув.
- Високоміцні болти використовуються для створення фрикційних з'єднань, працюючих за рахунок тертя між поверхнями деталей, стиснутих болтами.

Звичайні діаметри болтів усіх типів – від 16 мм до 30 мм, в особливо легких конструкціях можуть використовуватися болти грубої та нормальної точності діаметром 12 мм. Болти класів точності В, С ставляться в проколоті отвори, діаметр яких на 2...3 мм перевищує діаметр болта. Це робить з'єднання податливим і не дозволяє йому сприймати знакозмінні навантаження.

При дії знакозмінних навантажень і необхідності створення неподатливого з'єднання використовують болти класу точності А. Стержні цих болтів обточуються і ставляться в точно просвердлені отвори, діаметр яких з незначним плюсовим допуском дорівнює діаметру болта. Таке з'єднання є технологічно складним і дорогим, тому останнім часом використовується досить рідко.

Болти і гайки усіх класів точності виготовляється згідно з державними стандартами [6, 10], мають стандартизовані діаметри та класи міцності. ДБН [4] рекомендовані до використання болти класів точності А, В, С діаметрами 16, 20, 24, 30, 36 мм. В легких конструкціях можуть використовуватися болти діаметром 12 мм. Болти класів точності А, В, С випускаються класів міцності 5.6, 5.8, 8.8, 10.9 і 12.9. Перше число в позначенні класу міцності, помножене на 100, позначає межу міцності у МПа, а помножений на 10 добуток першого числа на друге – межу текучості матеріалу болта в МПа.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Особливе місце займають високоміцні болти, які виготовляються із загартованої сталі 40Х "селект" і переважно використовуються для утворення фрикційних з'єднань, що працюють на зсув. Завдяки великій міцності та контрольованому натягу болтів вони починають працювати на розтяг і обтискують пакет з'єднаних елементів. Зусилля зсуву сприймається силами тертя, що виникають між елементами. Таке з'єднання є неподатливим, оскільки зсув елементів у з'єднанні вважається відмовою. Фрикційні з'єднання на високоміцних болтах мають неврахований нормами [4] резерв несучої здатності, оскільки після зсуву болти упираються в стінки отворів і починають працювати на зріз, як звичайні болти класів точності А, В, С.

Високоміцні болти можуть також використовуватися у фланцевих з'єднаннях, де вони працюють на розтяг. В усіх випадках високоміцні болти ставляться в проколоті отвори, діаметр яких на 1...6 мм більший від діаметра болта. Контроль натягу високоміцних болтів здійснюється за величиною моменту закручування гайки або за величиною кута додаткового закручування після затягування "до упору" ручним ключем.

У вузлах з'єднань болти ставляться на мінімальних або на максимальних відстанях, які регламентовані таблицею 16.3 ДБН [4]. Мінімальні відстані зорієнтовані на компактність з'єднання і забезпечують цілісність з'єднаних деталей в проміжках між отворами. Залежно від міцності з'єднуваних елементів та характеру обробки кромek, мінімальні відстані між центрами суміжних отворів дорівнюють 2...3 діаметра отвору, відстань до краю елемента вздовж зусилля – 1,5...2,5 діаметра отвору, а поперек зусилля – 1,2...1,5 діаметра отвору під болт.

Максимальні відстані між болтами встановлюються залежно від діаметра болта і найменшої товщини крайнього елемента в пакеті. В таблиці 16.3 ДБН [4] вказані максимальні відстані між болтами 8...16 діаметрів отвору під болт або 12...24 товщини крайнього елемента. Ці відстані забезпечують щільне стискування пакету з метою запобігання корозії між з'єднаними елементами.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

1.4 Розрахунок з'єднань на болтах, що працюють на зріз

Описані вище конструкції вузлів балкових кліток дозволяють зробити висновок, що для з'єднання балок при дії статичних навантажень зазвичай використовуються болти нормальної точності (клас точності В), які працюють на зсув. Такі з'єднання працюють на зсув за схемами, зображеними на рисунку 1.12.

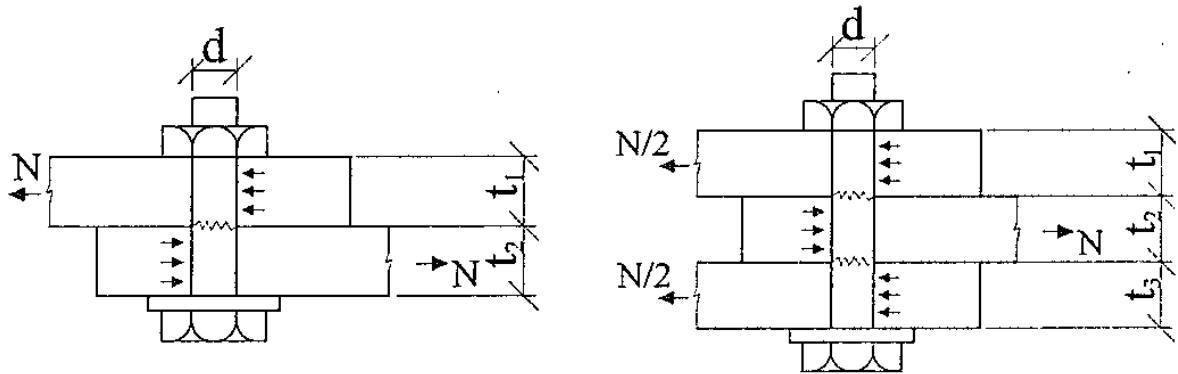


Рис. 1.12. Схема роботи болта на зсув

Болти працюють на зріз по межі з'єднуваних елементів, позначеній хвилястою лінією поперек болта. З'єднувані елементи працюють на зминання під тілом болта по площинах, позначених на рисунку 1.12 стрілками. Стосовно до зображених вище типових вузлів, з'єднуваними елементами є ребро жорсткості головної балки та стінка балки, що прикріплюється до нього. Болти мають одну площину зрізу, розміщену між цими елементами, як це показано на лівому рисунку 1.12. Розрахунок і конструювання з'єднань на болтах нормальної точності виконується за формулами ДБН [4] в порядку, рекомендованому [17]:

1. За таблицею 5.1 ДБН [4] обирають коефіцієнт умов роботи конструкції γ_c .
2. З урахуванням габаритів вузла, класу міцності сталі з'єднуваних елементів та вказівок таблиці Д.3 ДБН [4] обирають клас міцності та діаметр болтів.
3. За таблицею Д.4 ДБН [4] визначають розрахунковий опір зрізу болтів R_{bs} .
4. За таблицею Д.5 ДБН [4] залежно від тимчасового опору сталі з'єднуваних елементів R_{un} визначають розрахунковий опір R_{bp} зминанню елементів під болтами класу точності В.
5. За номінальним діаметром болта обчислюють його площу перерізу A_b .

6. Менша сума товщин Σt елементів, що зминаються в одному напрямку, визначається за конструкцією з'єднання. Вона дорівнює меншій з товщин ребра жорсткості головної балки чи стінки балки, що прикріплюється до нього (можливо – листа чи кутника, привареного до торця балки).
7. Коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання γ_b визначають за таблицею 16.4 ДБН [4] залежно від виду деформації (зріз болта чи зминання стінок отворів), кількості, схеми розміщення та класу точності болтів, а також характеристичного опору сталі з'єднуваних елементів.
8. За формулами (16.12) і (16.13) ДБН [4] визначають несучу здатність одного болта при зрізі (при одній площини зрізу $n_s=1$) та зминанні

$$N_{bs} = R_{bs} A_b n_s \gamma_b \gamma_c ; \quad (1.1)$$

$$N_{bp} = R_{bp} d_b \Sigma t_{\min} \gamma_b \gamma_c . \quad (1.2)$$

9. За меншою несучою здатністю одного болта за формулою (16.15) ДБН [4] визначають необхідну кількість болтів у з'єднанні

$$n_b = N \gamma_n / N_{b,\min} \quad (1.3)$$

та округлюють її до найближчої більшої величини.

10. З урахуванням вказаних у таблиці 16.4 ДБН [4] мінімально допустимих відстаней між центрами болтів та відстаней від центру отвору до кромки елементів рівномірно розміщують болти в один ряд по висоті стінки балки, що прикріплюється.
11. У випадку неможливості однорядного розміщення болтів слід змінити їх діаметр чи клас міцності та повторити розрахунок.

Описаний алгоритм розрахунку дозволяє запроектувати зображені на рисунках 1.8...1.10 вузли прикріплення другорядної балки чи балки настилу до головної балки в одному рівні чи при пониженому кріпленні з використанням болтів класу точності В.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

1.5 Висновки з бібліографічного огляду та завдання досліджень

За результатами бібліографічного огляду питань проектування вузлів з'єднання балок у сталевих балкових клітках можна зробити такі **висновки**:

1. Сталеві балкові клітки широко використовуються в конструкціях виробничих і громадських будівель та спеціальних споруд.
2. Другорядні балки та балки настилу можуть обпиралися на головну балку зверху і прикріплюватися фіксуючими болтами грубої точності, або примикати збоку (в одному рівня чи понижено) і прикріплюватися болтами нормальної точності або високоміцними болтами.
3. При бічному примиканні стінка другорядної балки чи балки настилу (або елемент, який завершує стінку у вузлі) прикріплюється до ребра жорсткості головної балки. У такому вузлі болти нормальної точності працюють на зріз болта і на зминання стінок отворів з'єднуваних елементів, а високоміцні болти утворюють фрикційне з'єднання.
4. Методи розрахунку та конструювання з'єднань на болтах усіх видів унормовані в чинних нормах проектування ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції" зі Зміною №1 видання 2022 року та детально роз'яснені в численній навчальній і довідковій літературі.
5. Чинні норми проектування сталевих конструкцій, довідкова та навчальна література не містять рекомендацій щодо вибору раціонального класу міцності та діаметра болтів нормальної точності, які працюють на зріз у вузлах з'єднання балок сталевих балкових кліток.

Виходячи з поставленої мети роботи та результатів бібліографічного огляду, сформульовані такі **завдання досліджень**:

1. Шляхом аналізу розрахункових формул виконати теоретичне оцінювання оптимального класу міцності болтів з умови вирівнювання несучої здатності за зрізом болта і за зминанням стінок отворів у з'єднуваних елементах.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

2. Розробити методику розрахунку та конструювання з'єднань на болтах нормальної точності при бічному примиканні другорядних балок чи балок настилу до головних балок та реалізувати її в середовищі Microsoft Excel.
3. Шляхом експериментального проектування з використанням розробленого в середовищі Microsoft Excel розрахункового бланку визначити кількості болтів нормальної точності різних діаметрів і класів міцності, необхідні для бічного прикріплення прокатних двотаврів та швелерів з ухилом полицок до поперечних ребер жорсткості головних балок з урахуванням можливості їх однорядного розміщення в межах стінки другорядної балки.
4. З результатів варіантного проектування вибрати раціональні комбінації діаметра, класу міцності та кількості болтів нормальної точності, необхідної для прикріплення прокатних двотаврів балкового типу з паралельними гранями полицок до ребер жорсткості головних балок.
5. Шляхом аналізу отриманих результатів виявити закономірності вибору раціональних класів міцності, діаметрів і необхідної кількості болтів нормальної точності залежно від профілю прокатних балок.
6. Розробити рекомендації щодо вибору діаметра й класу міцності болтів нормальної точності для з'єднаннях балок у вузлах сталевих балкових кліток та проілюструвати їх прикладами проектування характерних вузлів.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Розділ 2

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ БІЧНОГО ПРИКРІПЛЕННЯ ПРОКАТНИХ БАЛОК НА БОЛТАХ НОРМАЛЬНОЇ ТОЧНОСТІ

2.1 Завдання, передумови та вихідні дані для розрахунку

Проектування вузлів прикріплення прокатних балок до ребер жорсткості головної балки на болтах нормальної точності є багатоваріантною задачею, при розв'язанні якої можна змінювати діаметр і клас міцності болта. При цьому буде змінюватися необхідна кількість болтів, а також несуча здатність з'єднання за критеріями зрізу болтів та зминання стінок отворів. Таким чином, виникає задача раціонального вибору, яку можна розв'язати шляхом варіантного проектування вузлів прикріплення прокатних балок різних профілів до ребер жорсткості головної балки з використанням болтів різного діаметра та класу міцності.

Розроблена нижче методика варіантного проектування базується на таких передумовах та вихідних даних:

- розрахунок і конструювання з'єднання здійснюється згідно з вимогами ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції" [4] та конструктивною схемою, зображеною на рисунку 2.1;
- у якості балок, що прикріплюються, використовуються двотаври за ДСТУ [10] та швелери з ухилом полиць гранями полиць за ДСТУ [6];
- болти встановлюються в один ряд в межах плоскої частини стінки прокатної балки на мінімальних відстанях за таблицею 16.3 ДБН [4], тобто не більше $2d$ між осями суміжних отворів та не більше $1,5d$ від крайнього отвору до верхньої чи нижньої грані стінки (d – діаметр отвору під болти);
- мінімально допустима кількість болтів визначається з умов щільного обтискування з'єднаних елементів згідно з наведеними в таблиці 16.3 ДБН [4] максимальними відстанями між болтами та від краю стінки;
- використовуються болти класу точності В за ДСТУ ГОСТ 7798:2008, гайки за ДСТУ ГОСТ 5915:2008 та шайби за ДСТУ ГОСТ 22355:2008;

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

- згідно з рекомендаціями ДБН [4], використовуються болти нормальної точності діаметрами 16, 20, 24, 30 і 36 мм класів міцності 5.6, 8.8, 10.9 і 12.9;
- товщина ребра жорсткості, до якого прикріплюється прокатна балка, приймається не меншою за товщину стінки балки, тому з'єднання має одну площину зрізу болтів, а менша товщина площадки зминання дорівнює товщині стінки;
- болтове з'єднання розраховується на максимально можливе зусилля зрізу, яке може сприймати стінка прокатної балки в перерізі, що проходить по отворах під болти;
- у кожному з'єднанні використовуються болти найменшого класу міцності, який забезпечує несучу здатність при зрізі болтів, не меншу від несучої здатності з умови зминання стінок отворів.

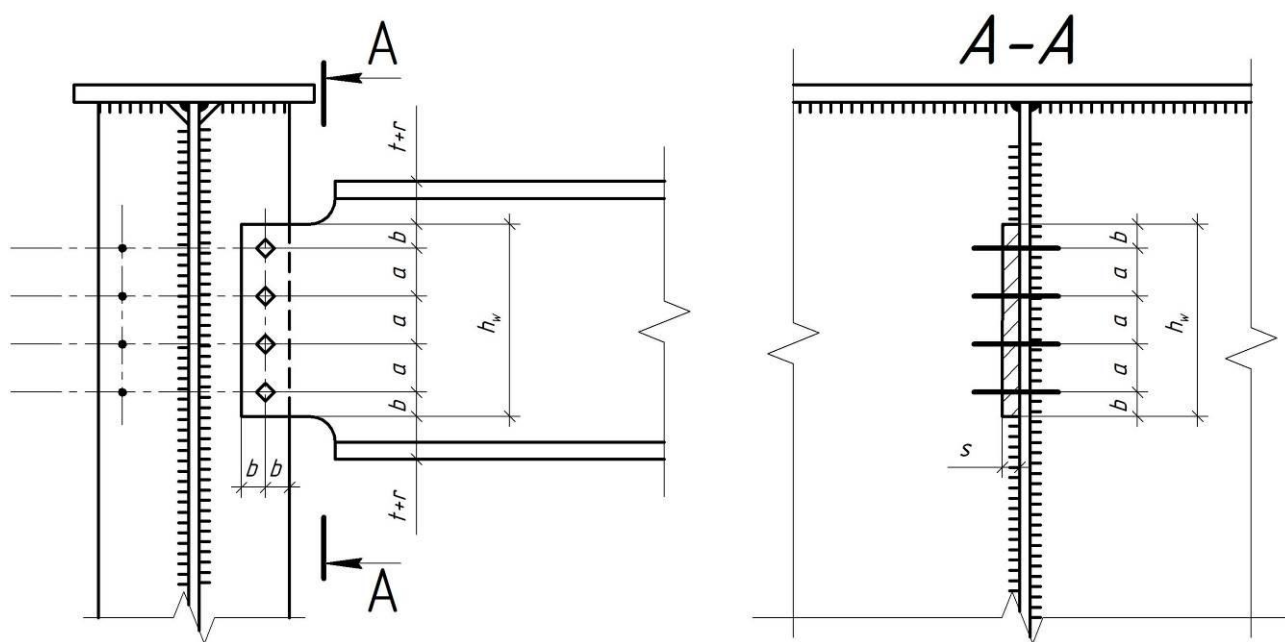


Рис. 2.1 Конструктивна схема болтового з'єднання

Реалізація викладених передумов повинна забезпечити можливість виявлення раціонального діаметра та класу міцності болтів нормальної точності у вузлах бічного прикріплення прокатних балок до поперечних ребер жорсткості головної балки.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		22

2.2 Порівняння несучої здатності болтових з'єднань за умовами зрізу болтів та зминання стінок отворів

У процесі проектування вузла бажано таким чином вибрати діаметр та клас міцності болтів, щоб величини несучої здатності за обома вказаними критеріями були досить близькими. Аналіз розрахункових формул (1.1) та (1.2) показує, що несуча здатність болта при зрізі визначається його класом міцності та квадратом діаметра, а при зминанні стінок отворів – діаметром болта, товщиною та міцністю елементів, що з'єднуються. Товщину ребра жорсткості завжди можна зробити більшою, ніж товщина стінки балки, яка до нього прикріплюється. Тому вирішальну роль гратиме міцність і товщина стінки другорядної балки, яка визначається при проектуванні прокатної балки і не може бути змінена у процесі розрахунку болтового з'єднання. Раціональний вибір болта зводиться до визначення такого діаметра та класу міцності, при якому несучі здатності з умов зминання стінок отворів та зрізу болта будуть приблизно рівними.

Прирівнявши несучі здатності за критерієм зрізу (1.1) та зминання (1.2), отримуємо вираз

$$R_{bs} A_b n_s \gamma_b \gamma_c = R_{bp} d_b \Sigma t_{\min} \gamma_b \gamma_c, \quad (2.1)$$

де R_{bs} – розрахунковий опір зрізу болта, який визначається за таблицею Д.4 ДБН [4] залежно від його класу міцності;

R_{bp} – розрахунковий опір зминанню стінок отворів, який визначається за таблицею Д.5 ДБН [4] залежно від характеристичного опору сталі, з якої виготовлена прокатна балка;

d_b – діаметр болта;

$n_s = 1$ – кількість зрізів болта за схемою з рисунка 2.1;

$\Sigma t_{\min}$ – мінімальна сума товщин елементів, що зминаються, рівна товщині стінки прокатної балки s згідно зі схемою з рисунка 2.1;

γ_c – коефіцієнт умов роботи конструкції за таблицею 5.1 ДБН [4];

γ_b – коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання за таблицею 16.4 ДБН [4].

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Площа поперечного перерізу болта A_b дорівнює

$$A_b = \frac{\pi d_b^2}{4} \approx 0,78 d_b^2. \quad (2.2)$$

Згідно з таблицею 16.4 ДБН [4], коефіцієнт умов роботи з'єднання на болтах нормальної точності при роботі на зріз, наявний у лівій половині рівняння (2.1), дорівнює $\gamma_b = 1,0$.

За формулами з таблиці 16.4 ДБН [4] встановлено, що наявний у правій частині рівняння (2.1) коефіцієнт умов роботи з'єднання на болтах нормальної точності, поставлених на мінімальних відстанях, при зминанні стінок отворів дорівнює $\gamma_b = 0,8$.

Підставивши до (2.1) $\gamma_c = 1$, $\gamma_b = 1,0$ для зрізу та $\gamma_b = 0,8$ для зминання, $n_s = 1$, $\Sigma t_{\min} = s$ та A_b за (2.2) і виконавши необхідні перетворення, отримуємо

$$0,98 R_{bs} d_b = R_{bp} s. \quad (2.3)$$

З отриманого рівняння визначимо товщину стінки s , при якій несуча здатність болтового з'єднання з умов зминання стінки другорядної балки буде дорівнювати несучій здатності з умов зрізу болта:

$$s = \frac{0,98 R_{bs} d_b}{R_{bp}}. \quad (2.4)$$

Найбільш поширені сталі класів міцності С 245 та С 255, які реально використовуються в несучих металевих конструкціях, мають характеристичний опір за міцністю $R_{un} = 370$ МПа. Згідно з таблицею Д.5 ДБН [4] отримуємо розрахунковий опір зминанню стінок отворів під болтами класу точності В $R_{bp} = 485$ МПа. Згідно з таблицею Д.4 ДБН [4], розрахунковий опір зрізу болтів R_{bs} залежить від їх класу міцності таким чином:

клас 5.6 – 210 МПа; клас 8.8 – 320 МПа;
клас 10.9 – 400 МПа; клас 12.9 – 420 МПа.

З урахуванням наведених даних виконані розрахунки за формулою (2.4), результати яких представлені в таблиці 2.1 і на рисунку 2.2.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1

Товщина стінок другорядних балок, при якій вирівнюються несучі здатності болтових з'єднань та критеріями зрізу болта й зминання стінок отворів

Клас болтів	5.6	8.8	10.9	12.9
$R_{bs} =$	210	320	400	420
d_b	S	S	S	S
16	6,8	10,3	12,9	13,6
20	8,5	12,9	16,2	17,0
24	10,2	15,5	19,4	20,4
30	12,7	19,4	24,2	25,5
36	15,3	23,3	29,1	30,6

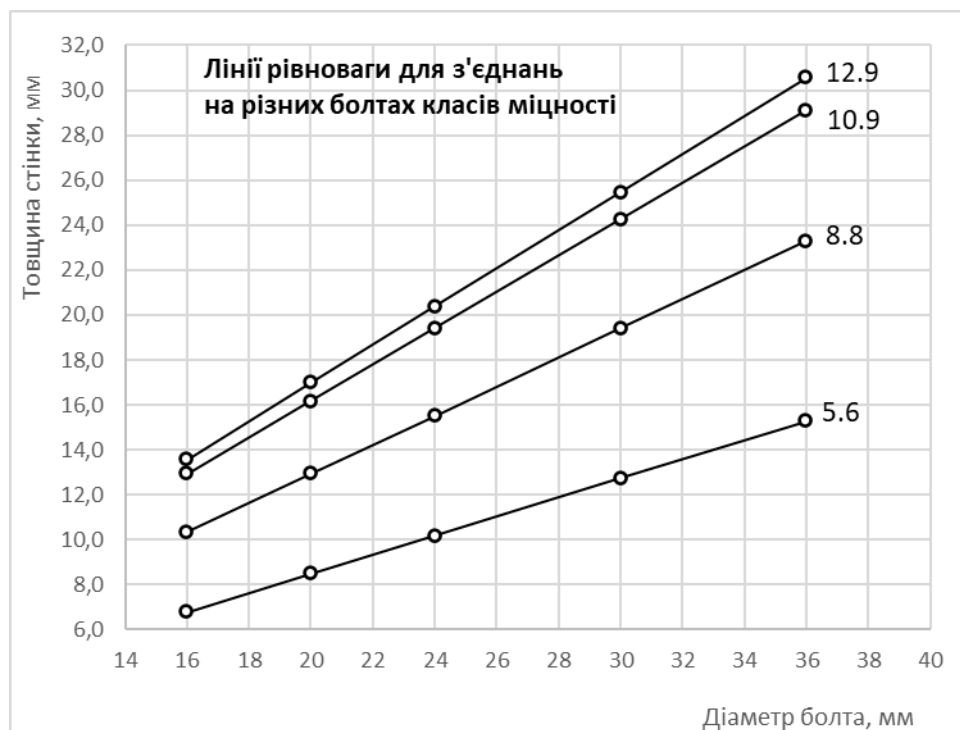


Рис. 2.2 Рівноважна товщина стінок другорядних балок за критеріями зрізу болта й зминання стінок отворів

Лінії на рисунку 2.2 відповідають комбінаціям діаметра болта й товщини стінки другорядної балки, при яких точно виконуються рівняння (2.1) і (2.3), тобто несуча здатність болтового з'єднання за зрізом болта обраного класу міцності дорівнює несучій здатності за зминанням стінок отворів. Для комбінацій

діаметра болта й товщини стінки, які відображаються точками вище відповідної лінії, визначальним критерієм є зріз болта, а несуча здатність за зминанням стінок отворів є більшою. Для точок, розміщених нижче лінії, вирішальним критерієм є зминання стінок отворів.

При практичному проектуванні матеріал і товщина стінки балки, яка прикріплюється болтами, остаточно визначені до початку розрахунку болтового з'єднання. Використання рисунка 2.2 чи таблиці 2.1 може полягати у визначенні необхідного класу міцності болта при заданому діаметрі. Для цього слід на рисунку 2.2 знайти точку, яка відповідає наявній комбінації товщини стінки балки та діаметра болта. Раціональний клас міцності болта відповідає найближчій до цієї точки лінії. Якщо лінія для обраного класу міцності болта лежить нижче контрольної точки, вирішальною умовою буде зріз болта, а якщо вище – зминання стінок отворів. Для досягнення максимально можливої несучої здатності вузла краще повністю використовувати несучу здатність стінки при зминанні під болтами, а самі болти встановлювати з певним запасом. Тому доцільно обирати вищий клас міцності, якому на рисунку 2.2 відповідає лінія, що лежить вище контрольної точки.

Аналіз таблиці 2.1 і рисунка 2.2 дозволяє додатково зробити два висновки. Оскільки несуча здатність за зрізом болта класу міцності 12.9 мало відрізняється від класу міцності 10.9, використання більш дорогих болтів класу 12.9 навряд чи є раціональним. При товщинах стінок швелерів і прокатних двотаврів з ухилом полиць, які не перевищують 12 мм, у всіх випадках використання болтів класів міцності 10.9 і 12.9 вирішальним критерієм буде зминання стінок отворів, а зріз болта ніколи не відбудеться. Тому у вузлах бічного обпирання балок з прокатних двотаврів і швелерів з ухилом полиць використовувати болти класів міцності 10.9 і 12.9 немає сенсу.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

2.3 Алгоритм розрахунку болтів у вузлах прикріплення прокатних балок та його програмна реалізація

Для виконання варіантного проектування болтових з'єднань розроблено й реалізовано в середовищі Microsoft Excel алгоритм розрахунку, який відповідає вимогам ДБН [4], рекомендаціям навчальної літератури [13, 17, 21, 22] та передумовам, викладеним у підрозділі 2.1. Розроблений розрахунковий бланк показано на рисунку 2.3.

У рядку 3 наведені характеристики міцності фасонного прокату зв сталей С 245 та С 255, з якого виконуються другорядні балки, а також розрахунковий опір зминанню стінок отворів під болтами та коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання при зминанні. В комірках I 5...L 6 вказані класи міцності болтів та їх розрахункові опори зрізу.

У рядках 8...12 виконуються розрахунки болтового з'єднання згідно з вимогами ДБН [4] для балки обраного профілю. Розрахунки для кожної балки займають п'ять рядків, кожен з яких відповідає одному діаметру болта. Ці рядки містять таку інформацію у стовпцях:

A, B – позначення профілю двотавра, висота h_w і товщина $s = t_w$ плоскої частини стінки, розрахунковий опір зрізу та повне значення несучої здатності стінки на зріз, рівне

$$Q = h_w \times t_w \times R_s ; \quad (2.5)$$

C – діаметр болта d_b в міліметрах;

D – площа перерізу болта в см^2 ;

E – діаметр отвору під болт, рівний $d = d_b + 2 \text{ мм}$;

F – мінімально можлива кількість болтів заданого діаметра, визначена з умови постановки болтів на максимальних відстанях згідно з рисунком 2.1 і таблицею 16.3 ДБН [4] за формулою

$$n_{\min} = \frac{h_w - 2b}{a} + 1 \quad (2.6)$$

та округлена до найближчого більшого цілого значення.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Згідно з таблицею 16.3 ДБН [4], відстань між центрами отворів прийнята меншою із значень $a = 8d$ чи $a = 12s$, а відстань від крайнього болта до краю стінки – меншою із значень $b = 4d$ чи $b = 8s$

Ці розрахунки, вибір та округлення в середовищі Microsoft Excel виконуються за формулою: $n_{\min} = \text{ОКРУГЛВВЕРХ}((\$B\$9 - 2 * \text{МИН}(4 * \$E8; 8 * \$B\$10)) / \text{МИН}(8 * \$E8; 12 * \$B\$10) + 1; 0)$

G – максимально можлива кількість болтів заданого діаметра, визначена з умови постановки болтів на мінімальних відстанях згідно з рисунком 2.1 і таблицею 16.3 ДБН [4] за формулою

$$n_{\max} = \frac{h_w - 2b}{a} + 1 \quad (2.7)$$

та округлена до найближчого меншого цілого значення.

Згідно з таблицею 16.3 ДБН [4], відстань між центрами отворів прийнята рівною $a = 2d$, а відстань від крайнього болта до краю стінки – $b = 1,5d$

Ці розрахунки в середовищі Microsoft Excel виконуються за формулою: $n_{\max} = \text{ОКРУГЛВНИЗ}((\$B\$9 - 3 * \$E8) / (2 * \$E8) + 1; 0)$

H – несуча здатність стінки при зрізі, обчислена з урахуванням ослаблення отворами під мінімально можливу кількість болтів:

$$Q = (h_w - d \times n_{\min}) \times t_w \times R_s; \quad (2.8)$$

У середовищі Microsoft Excel обчислення реалізовані формулою:

$Q = (\$B\$9 - \$F8 * \$E8) * \$B\$10 * \$B\$11 / 1000$, яка діленням на 1000 узгоджує розмірність врахованих величин.

Фактична кількість болтів у з'єднанні не може бути меншою за $n_{\min}$, а якщо вона буде більшою, то формула (2.8) дасть завищене значення і тим самим створить запас надійності при обчисленні необхідної кількості болтів у з'єднанні.

I...L – необхідна кількість болтів у з'єднанні, яка дорівнює більшому із значень відповідних комірок M...P (умова зрізу) та Q...T (умова зминання), округленому до найближчої більшої цілої величини.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ЗМ.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	КМР 2319218 ПЗ																	
1	Розрахунок з'єднання на болтах нормальної точності																					
2																						
3	Сталь С 245		$R_y = 240$			$R_s = 139$		$R_{un} = 370$		$R_{bp} = 485$		$\gamma_b = 0,8$										
4																						
5	Клас міцності болта =										5.6	8.8	10.9	12.9								
6											$R_{bs} =$	210	320	400	420							
7			d_b	A_b		d	n_{min}	n_{max}	Q	n_{ef}	n_{ef}	n_{ef}	n_{ef}	За зрізом				За змінанням				
8	Балка	Дв 60	16	2,00		18	4	14	753,9	18	12	11	11	17,98	11,80	9,44	8,99	10,12	10,12	10,12	10,12	
9	Стінка	524	20	3,12		22	4	11	727,2	11	8	8	8	11,10	7,28	5,83	5,55	7,81	7,81	7,81	7,81	
10	C255	12	24	4,49		26	4	9	700,6	8	7	7	7	7,43	4,87	3,90	3,71	6,27	6,27	6,27	6,27	
11	$R_s =$	139	30	7,02		32	4	7	660,5	5	5	5	5	4,48	2,94	2,35	2,24	4,73	4,73	4,73	4,73	
12	$Q =$	874,0	36	10,11		38	4	6	620,5	4	4	4	4	2,92	1,92	1,53	1,46	3,70	3,70	3,70	3,70	
13																						
14																						
15	Дв 12	Дв 14	Дв 16	Дв 18		Дв 20	Дв 22	Дв 24	Дв 27	Дв 30	Дв 33	Дв 36	Дв 40	Дв 45	Дв 50	Дв 55	Дв 60					
16	90	109	127	145		164	182	200	228	255	280	307	344	389	435	481	524					
17	4,8	4,9	5	5,1		5,2	5,4	5,6	6	6,5	7	7,5	8,3	9	10	11	12					
18																						
19																						
20	Шв 12У	Шв 14У	Шв 16У	Шв 18У		Шв 20У	Шв 22У	Шв 24У	Шв 27У	Шв 30У	Шв 33У	Шв 36У	Шв 40У									
21	90	107	126	144	163	181	199	227	254	280	306	343										
22	4,8	4,9	5	5,1	5,2	5,4	5,6	6	6,5	7	7,5	8										

Рис. 2.3 Розрахунковий бланк для проектування з'єднання на болтах нормальної точності

М...Р – необхідна кількість болтів у з'єднанні з умови зрізу болтів, яка згідно з формулою (1.1) дорівнює

$$n_{bs} = \frac{Q}{R_{bs} A_b n_s \gamma_b \gamma_c}; \quad (2.9)$$

З урахуванням $n_s = 1$, $\gamma_b = 1$, $\gamma_c = 1$ та множника 10 для перетворення розмірності, отримуємо вираз в Microsoft Excel $n_{bs}=10*\$H8/(\$6*\$D8)$

Q...Т– необхідна кількість болтів у з'єднанні з умови зминання стінок отворів під болтами, яка згідно з формулою (1.2) дорівнює

$$n_{bp} = \frac{Q}{R_{bp} d_b \Sigma t_{\min} \gamma_b \gamma_c} \quad (2.10)$$

З урахуванням $\gamma_b = 1$, $\gamma_c = 1$, рівності $\Sigma t_{\min} = s = t_w$, а також множника 1000 для перетворення розмірності отримуємо вираз в Microsoft Excel $n_{bp}=1000*\$H8/(\$O\$3*\$B\$10*\$C8*\$R\$3)$

Рядки 15...17 та 20...22 розрахункового бланка містять дані з сортаментів прокатних двотаврів з ухилом полицок [5] та швелерів з ухилом полицок [7]. Для кожного профілю вказані: позначення профілю, висота плоскої ділянки стінки та товщина стінки. Висота плоскої ділянки стінки визначена за формулою

$$h_w = h - 2 t_f - 2 r, \quad (2.11)$$

де h – повна висота перерізу двотавра чи швелера;

t_f – товщина полицки двотавра чи швелера;

r – радіус закруглення між полицкою та стінкою профілю.

Розрахунки в розробленому та наведеному на рисунку 2.3 бланку Microsoft Excel виконуються в такому порядку:

- 1) задаються вихідні дані в рядках 3...6;
- 2) із фрагментів сортаментів, розміщених в нижній частині розрахункового бланка, копіюються позначення профілю та розміри стінки;
- 3) скопійовані величини заносяться в комірки В 8...В 10;
- 4) усі розрахунки виконуються автоматично;

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

- 5) дані та результати розрахунків з комірок А 8...Т 12 копіюються і вставляються до зведеної таблиці результатів на іншому аркуші як "значення та форматування";
- 6) у результатів повторення кроків 2...5 на окремому робочому аркуші формується зведена таблиця з результатами розрахунків.

Досвід розрахунків показав, що розроблений розрахунковий бланк дозволяє досить швидко розрахувати з'єднання прокатних балок на болтах різних діаметрів та класів міцності.

2.4 Інтерпретація результатів розрахунку та приклади конструювання вузлів

Порядок аналізу результатів розрахунків вузлів бічного кріплення другорядних балок до ребра жорсткості головної балки покажемо на прикладі двотавра 20 та двотавра 50 з ухилом полиць. Результати розрахунку цих вузлів наведені на рисунку 2.4, виконаного у вигляді копії екрана Excel. Для кожного двотавра отримано необхідні кількості болтів для 20 комбінацій з чотирьох класів міцності та п'яти діаметрів болтів. Жовтим кольором відмічені можливі варіанта конструювання вузлів, а зеленим – раціональні варіанти. Відбір цих варіантів здійснювався за описаними нижче критеріями, які також проілюстровані прикладами з рисунка 2.4.

Неможливими є рішення, для яких:

- на стінці можна розмістити лише один болт заданого діаметра (болт діаметром 36 мм для кріплення балки з Дв 20);
- мінімально допустима кількість болтів $n_{\min}$ отримана більшою від максимально допустимої кількості $n_{\max}$, що може реалізуватися унаслідок надто тонкої стінки балки (болти усіх класів міцності діаметром 24, 30 і 36 мм для кріплення балки з Дв 20);

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

- необхідна за розрахунком кількість болтів перевищує максимально допустиму кількість $n_{\max}$, встановлену з умов розміщення на плоскій частині стінки другорядної балки (12 болтів діаметром 16 мм класу міцності 5.6 для кріплення балки з Дв 50).

Можливими, але нераціональними є рішення, для яких:

- існує варіант з такою ж кількістю болтів того ж діаметра, але меншого класу міцності (болти класів міцності 8.8, 10.9 і 12.0 діаметром 16 мм для кріплення балки з Дв 20; болти класів міцності 10.9 і 12.0 діаметром 16 мм і 20 мм для кріплення балки з Дв 50; болти класів міцності 8.8, 10.9 і 12.0 діаметром 24 мм і 30 мм для кріплення балки з Дв 50);
- існує варіант з такою ж кількістю болтів такого самого класу міцності, але меншого діаметра (болти усіх класів міцності діаметром 20 мм для кріплення балки з Дв 20, якщо замість двох болтів за розрахунком конструктивно прийняти три болти з умов розміщення на стінці; болти усіх класів міцності діаметром 36 мм для кріплення балки з Дв 50, якщо замість трьох болтів за розрахунком прийняти чотири болти з умов розміщення на стінці).

Раціональними є рішення з найменшою можливою кількістю болтів найменшого можливого діаметра та класу міцності.

Вузол прикріплення двутавра 20 доцільно виконати на трьох болтах класу міцності 5.6 діаметром 16 мм.

Вузол прикріплення двутавра 50 можна виконати такими способами:

- 9 болтів класу міцності 8.8 діаметром 16 мм;
- 8 болтів класу міцності 5.6 діаметром 20 мм;
- 7 болтів класу міцності 8.8 діаметром 20 мм;
- 5 болтів класу міцності 5.6 діаметром 24 мм;
- 4 болти класу міцності 5.6 діаметром 30 мм.

Вибір одного з цих раціональних варіантів слід здійснювати з урахуванням уніфікації конструкцій та вартості описаних з'єднань.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Конструювання розрахованого вузла зводиться до правильного розміщення болтів з урахуванням мінімальних та максимальних відстаней між осями болтів та від осі болта до краю з'єднаних елементів. Ці відстані задані в таблиці 16.3 ДБН [4]. Розміри, вибрані з таблиці ДБН для з'єднань на болтах класу точності В, наведені в підрозділі 1.2. Мінімальні розміри дорівнюють:

- відстань між центрами отворів для болтів $2 d$
- відстань від центра отвору до краю елемента $1,5 d$

Максимальні розміри приймаються рівними:

- відстань між центрами отворів для болтів крайніх рядів $8 d$ або $12 s$
- відстань від центра отвору до краю елемента $4 d$ або $8 s$

Тут, як і вище, d – діаметр отвору для болта, s – товщина стінки другорядної балки, яка прикріплюється болтами.

Порядок компоновання вузла проілюструємо двома прикладами з рисунка 2.4, а саме: кріплення двотавра номер 50 дев'ятьма болтами діаметром 16 мм класу міцності 8.8 та кріплення того ж двотавра чотирма болтами діаметром 30 мм класу міцності 5.6. Двотавр номер 50 має стінку висотою $h_w = 435$ мм і товщиною $s = 10,0$ мм. Використані нижче позначення розмірів відповідають рисунку 2.1: відстань між осями болтів – a , відстань до краю стінки упоперек балки (вздовж дії зусилля) – b , відстань до краю стінки уздовж балки – c , діаметр отвору для болта – d .

Вузол кріплення дев'ятьма болтами діаметром 16 мм ($d = 18$ мм).

Відстань до верхнього та нижнього краю стінки повинна бути в межах:
 мінімальна $b = 1,5 d = 1,5 \times 18 = 27$ мм,
 максимальна $b = 4 d = 4 \times 18 = 72$ мм або $b = 8 s = 8 \times 10 = 80$ мм

Відстань між осями болтів у ряду:
 мінімальна $a = 2 d = 2 \times 18 = 36$ мм,
 максимальна $a = 8 d = 8 \times 18 = 144$ мм або $a = 12 s = 12 \times 10 = 120$ мм

Приймаємо відстань між осями болтів рівною $a = 45$ мм.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Тоді при 9 болтах (8 відстаней між болтами) відстань до краю стінки повинна бути $b = \frac{435-8 \times 45}{2} = 37,5$ мм, що відповідає встановленому вище допустимому проміжку 27...72 мм. Приймаємо відстань від верхнього краю стінки до першого болта рівною 38 мм. З урахуванням товщини полички та радіуса закруглення в її сполученні зі стінкою відстань від площини верхньої полички до верхнього болта становитиме $38 + 15,2 + 17 = 70$ мм. Згідно з таблицею 16.3 ДБН [4], відстань від осі отвору до краю стінки уздовж балки, тобто поперек дії зусилля повинна бути не меншою за $c = 1,5 d = 1,5 \times 18 = 27$ мм. Приймаємо $c = 30$ мм. Така сама відстань повинна бути від осі отвору до зовнішнього краю ребра жорсткості головної балки. Креслення вузла з прийнятими розмірами наведене на рисунку 2.5.

Вузол кріплення чотирма болтами діаметром 30 мм ($d = 32$ мм).

Відстань до верхнього та нижнього краю стінки повинна бути в межах: мінімальна $b = 1,5 d = 1,5 \times 32 = 48$ мм,

максимальна $b = 4 d = 4 \times 32 = 128$ мм або $b = 8 s = 8 \times 10 = 80$ мм

Відстань між осями болтів у ряду:

мінімальна $a = 2 d = 2 \times 32 = 64$ мм,

максимальна $a = 8 d = 8 \times 32 = 256$ мм або $a = 12 s = 12 \times 10 = 120$ мм

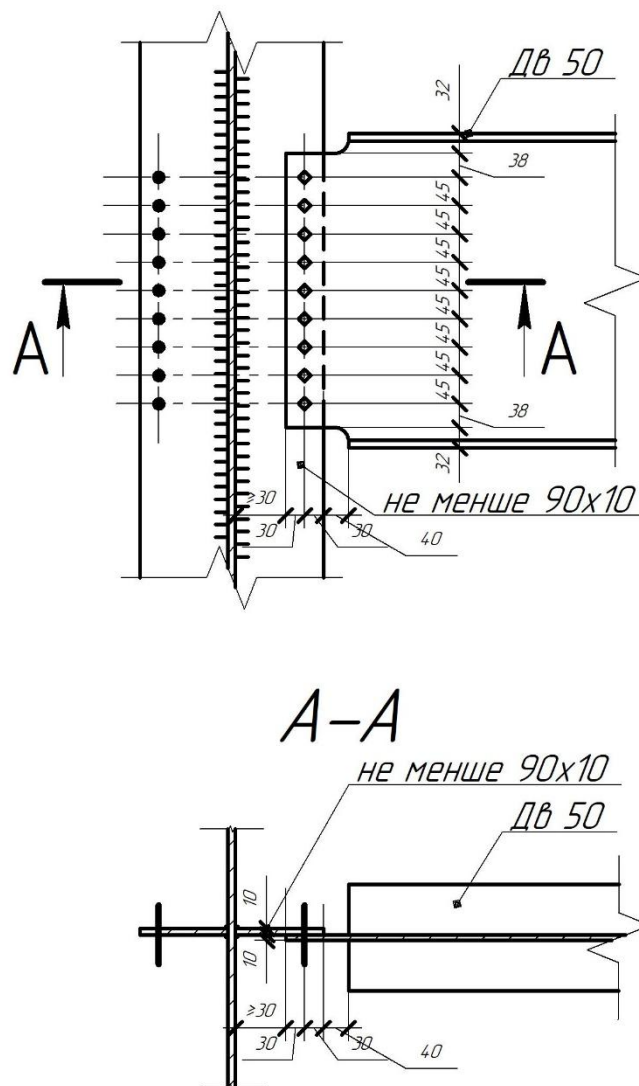
Приймаємо відстань між осями болтів рівною $a = 110$ мм.

Тоді при 4 болтах (3 відстані між болтами) відстань до краю стінки повинна бути $b = \frac{435-3 \times 110}{2} = 52,5$ мм, що відповідає встановленому вище допустимому проміжку 48...80 мм. Приймаємо відстань від верхнього краю стінки до першого болта рівною 53 мм. З урахуванням товщини полички та радіуса закруглення в її сполученні зі стінкою відстань від площини верхньої полички до верхнього болта становитиме $53 + 15,2 + 17 = 85$ мм.

За таблицею 16.3 ДБН [4], відстань від осі отвору до краю стінки уздовж балки (поперек дії сили) має бути не меншою за $b = 1,5 d = 1,5 \times 32 = 48$ мм. Приймаємо $c = 50$ мм. Така сама відстань повинна бути від осі отвору до

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

зовнішнього краю ребра жорсткості головної балки. Креслення вузла з прийнятими розмірами наведено на рисунку 2.6.

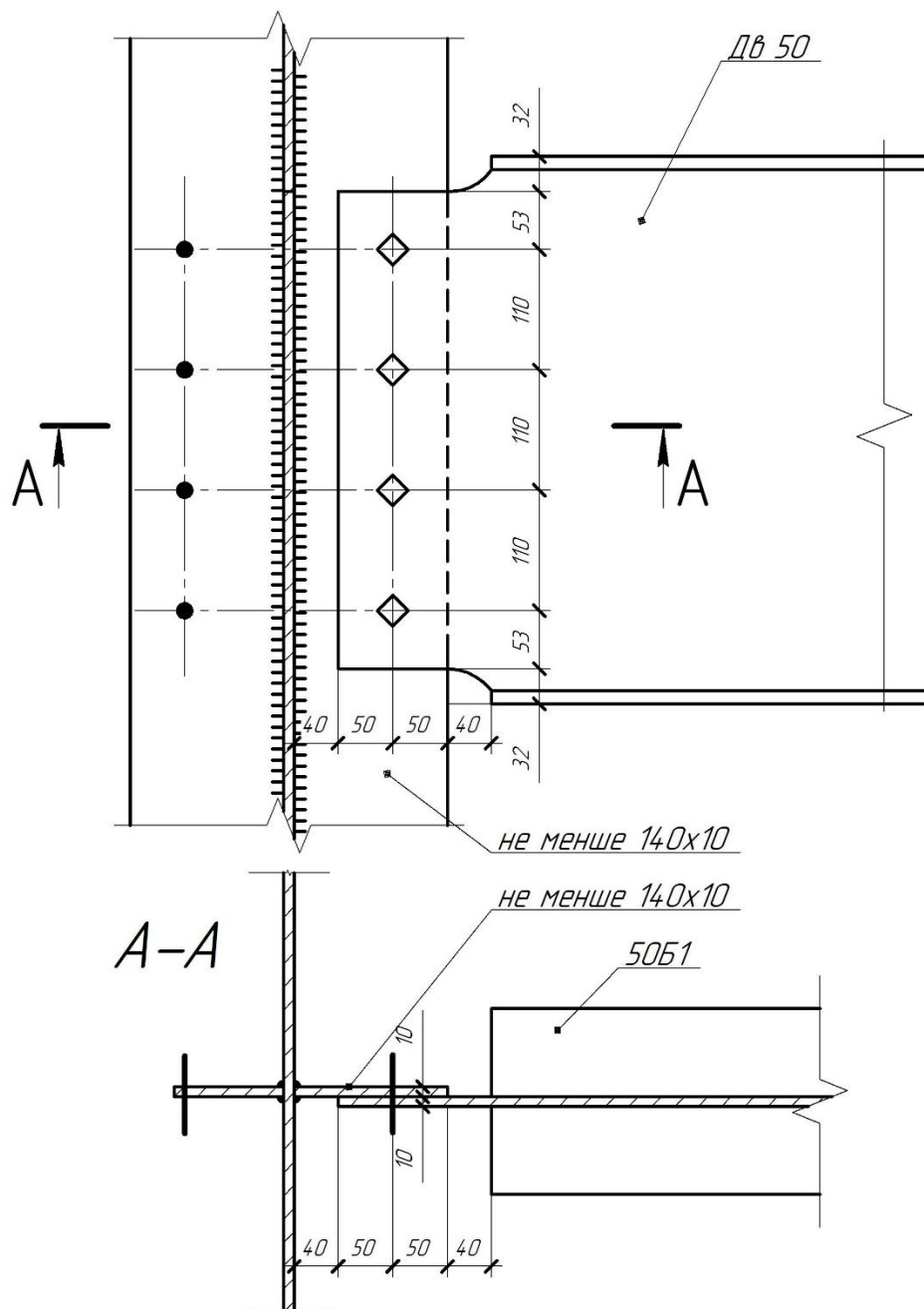


Примітки:

1. Усі отвори $d=18$ мм
2. Усі болти класу міцності 8.8, класу точності B, $d=16$ мм

Рис. 2.5 Кріплення балки з двотавра 50 дев'ятьма болтами діаметром 16 мм

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		36



Примітки:

1. Усі отвори $d=32$ мм
2. Усі болти класу міцності 5.6, класу точності B, $d=30$ мм

Рис. 2.6 Кріплення балки з двотавра 50 чотирма болтами діаметром 16 мм

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		37

2.5 Висновки з розділу

1. За ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції» та іншими джерелами сформульовані передумови та встановлені загальні вихідні дані для виконання розрахунків і конструювання вузлів бічного кріплення другорядних балок чи балок настилу до ребер жорсткості головної балки на болтах класу точності В.

2. Розроблений в середовищі Microsoft Excel розрахунковий бланк забезпечує виконання розрахунків фрикційних вузлів бічного кріплення балок з прокатних двотаврів та швелерів до поперечних ребер жорсткості головної балки з урахуванням необхідних вихідних даних та конструктивних вимог.

3. Необхідна кількість болтів у з'єднанні визначається на дію зусилля. рівного несучій здатності стінки прикріпленої балки при зрізі з урахуванням ослаблення стінки отворами для мінімально допустимої кількості болтів. Розроблений розрахунковий бланк передбачає визначення кількості болтів п'яти діаметрів 16, 20, 24, 30, 36 мм та чотирьох класів міцності 5.6, 8.8, 10.9, 12.9.

4. Порядок виконання розрахунків з використанням розробленого розрахункового бланка, а також методика аналізу отриманих результатів проілюстровані прикладами розрахунку прикріплення прокатних двотаврів з ухилом полиць номер 20 і номер 50.

5. Аналіз результатів виконаних прикладів розрахунку показав, що більша частина з 20 можливих комбінацій класу міцності та діаметра болта не можуть бути реалізовані унаслідок неможливості виконання конструктивних вимог, або є нераціональними, оскільки існують варіанти з такою ж кількістю болтів меншого діаметра чи нижчого класу міцності.

6. Приклади конструювання двох варіантів вузла кріплення прокатного двотавра номер 50 з ухилом полиць підтвердило цілковиту придатність використаного алгоритму розрахунку та розробленого розрахункового бланка для проєктування вузлів бічного кріплення другорядних прокатних балок до ребер жорсткості головної балки.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Розділ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ БОЛТОВИХ З'ЄДНАНЬ У ВУЗЛАХ БІЧНОГО ПРИМИКАННЯ БАЛОК

3.1 Завдання проєктування та вихідні дані

Завдання даного розділу полягає у тому, щоб встановити діаметри та кількість болтів класу точності В, необхідних для бічного прикріплення другорядних балок чи балок настилу до ребер жорсткості головних балок. Аналіз отриманих результатів дозволить виявити раціональні варіанти рішення таких вузлів. Проєктування здійснюється з використанням розрахункового бланку, розробленого й описаного в попередньому розділі.

Можливі діаметри та класи міцності болтів встановлені у попередньому розділі за чинними нормами проєктування [4]. Аналізуються болти чотирьох класів міцності 5.6, 8.8, 10.9 і 12.9 діаметрами 16, 20, 24 30 і 36 мм. Другорядні балки виготовляються з маловуглецевих сталей поширених класів міцності С 245 та С 255. Згідно з ДБН [4] визначені також характеристики міцності елементів з'єднання: розрахунковий опір зрізу фасонного прокату зі сталей С 245 та С 255, розрахункові опори зрізу перелічених болтів та розрахунковий опір зминанню стінок отворів у балках. Ці дані занесені до розрахункового бланку, зображеного на рисунку 2.3, і враховані в розрахунках усіх вузлів. Змінними вихідними даними є характеристики перерізів балок, які прикріплюються болтами.

На сайті Українського центру сталевих будівництва [28] наведений актуальний сортамент металопродукції. Там перелічені сім двотаврів з ухилом полиць від номера 14 до номера 45 та 11 швелерів з ухилом полиць від номера 6,5У до номера 30У, які постійно є в наявності та можуть постачатися без обмежень. Такий перелік є надто малим для виявлення закономірностей у конструкціях вузлів обпирання балок, тому сортамент з [28] розширено у бік більших двотаврів та швелерів з ухилом полиць з сортаментів [5, 7].

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Перелік прокатних профілів, які будуть проаналізовані в нашому дослідженні, наведено в таблицях 3.1 і 3.2, де вказані розміри поперечних перерізів швелерів та двотаврів з ухилом полицок за сортаментами [5, 7]. Двотаври з паралельними полицками не аналізуються, оскільки вони практично не виготовляються в Україні й останнім часом є малодоступними.

З повного сортаменту двотаврів [5] та швелерів [7] вилучені малі профілі, у яких неможливо поставити хоча б два болти мінімального діаметра 16 мм. Виходячи з описаних у попередньому розділі мінімальних відстаней між болтами та встановленої ДБН [4] різниці в діаметрах болта й отвору під нього 2 мм, висота стінки балки для постановки двох болтів мінімального діаметра 16 мм повинна бути не меншою від $2 \times 1,5d + 2d = 2 \times 1,5 \times 18 + 2 \times 18 = 90$ мм. Цій умові відповідають двотаври та швелери, починаючи з номера 12. Окрім того, не враховуються швелери 16аУ та 18аУ, які мають таку ж висоту, як і швелери 16У та 18У, і такі ж умови розміщення болтів на стінці. Таким чином, у вибіркового сортаменті залишилося 16 двотаврів та 12 швелерів з ухилом полицок.

Таблиця 3.1

Розміри профілів прокатних швелерів з ухилом полицок

Номер швелера	Розміри в мм						А, см ²
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>r</i>	<i>h_w</i>	
12У	120	52	4,8	7,8	7,5	90	13,3
14У	140	58	4,9	8,1	8	107	15,6
16У	160	64	5	8,4	8,5	126	18,1
18У	180	70	5,1	8,7	9	144	20,7
20У	200	76	5,2	9	9,5	163	23,4
22У	220	82	5,4	9,5	10	181	26,7
24У	240	90	5,6	10	10,5	199	30,6
27У	270	95	6	10,5	11	227	35,2
30У	300	100	6,5	11	12	254	40,5
33У	330	105	7	11,7	13	280	46,5
36У	360	110	7,5	12,6	14	306	53,4
40У	400	115	8	13,5	15	343	61,5

Розміри профілів прокатних двотаврів з ухилом полицок

Номер двотавра	Розміри в мм						А, см ²
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>r</i>	<i>h_w</i>	
12	120	64	4,8	7,3	7,5	90	14,7
14	140	73	4,9	7,5	8	109	17,4
16	160	81	5	7,8	8,5	127	20,2
18	180	90	5,1	8,1	9	145	23,4
20	200	100	5,2	8,4	9,5	164	26,8
22	220	110	5,4	8,7	10	182	30,6
24	240	115	5,6	9,5	10,5	200	34,8
27	270	125	6	9,8	11	228	40,2
30	300	135	6,5	10,2	12	255	46,5
33	330	140	7	11,2	13	281	53,8
36	360	145	7,5	12,3	14	307	61,9
40	400	155	8,3	13	15	344	72,6
45	450	160	9	14,2	16	389	84,7
50	500	170	10	15,2	17	435	100
55	550	180	11	16,5	18	481	118
60	600	190	12	17,8	20	524	138

Окрім номера двотавра чи швелера, в таблицях 3.1 і 3.2 наведені такі дані:

h – повна висота профілю;

b – ширина полицки;

s – товщина стінки;

t – товщина полицки;

r – радіус примикання полицки до стінки;

h_w – висота стінки (плоскої ділянки між полицками);

A – площа поперечного перерізу профіля.

У якості вихідних даних для проєктування фрикційних з'єднань будуть використовуватися висота ***h*** і товщина ***s*** стінки двотавра чи швелера. Товщина полицки ***t*** та радіус закруглення ***r*** використані для визначення висоти стінки ***h_w*** за формулою (2.1). Інші величини наведені у якості довідкових.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

3.2 Результати варіантного проектування

Згідно з викладеними передумовами та вихідними даними з використанням описаного і попередньому розділі розрахункового бланка в середовищі Microsoft Excel виконані розрахунки 560 варіантів болтових з'єднань (28 прокатних профілів, 4 класи міцності та 4 діаметри болтів у кожному вузлі). Результати розрахунків усіх 28 вузлів прикріплення прокатних балок наведені в додатку А.

За критеріями, обґрунтованими в попередньому розділі, відібрані 356 можливих варіантів та 73 раціональних варіанти з 560 розглянутих. У таблиці додатку А можливі варіанти вирішення вузлів відмічені жовтим кольором, а раціональні варіанти – зеленим кольором та жирним шрифтом. Блакитним кольором відмічені варіанти конструктивних рішень, у яких необхідна кількість болтів була визначена за критерієм зрізу болта, а не зминання стінок отворів під болтами. За додатком А сформована таблиця 3.3, до якої відібрані раціональні варіанти кріплення балок та їх основні конструктивні параметри.

Аналіз таблиці 3.3 показує, що з ростом висоти профілю збільшується кількість можливих і раціональних рішень вузлів кріплення, а також максимальний діаметр та клас міцності використаних болтів. Разом з тим, усі балки можуть бути прикріплені болтами найменшого з проаналізованих діаметрів, тобто 16 мм. У переважній більшості вузлів необхідна кількість болтів визначається з умови зминання стінок отворів і тільки у вузлах прикріплення великих профілів з товщиною стінки 7 мм і більше вирішальною умовою може стати зріз болтів. Таке співвідношення обумовлене невеликими товщинами стінок прокатних двотаврів і швелерів, що дає малі площі зминання цих стінок під болтами.

Більш детальний аналіз залежностей конструктивних параметрів вузлів кріплення від величини профілю балок виконаний у наступному підрозділі.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3

Узагальнені параметри вузлів обпирання двотаврів і швелерів

Профіль	Висота балки, см	Висота стінки, мм	Товщина стінки, мм	Кількість рішень, обраних з умови зрізу болтів	Кількість можливих рішень	Кількість раціональних рішень	Мінімальний діаметр болта, мм	Максимальний діаметр болта, мм	Найвищий клас міцності болта
ШВ 12У	12	107	4,8	0	4	1	16	16	5.6
ШВ 14У	14	107	4,9	0	4	1	16	16	5.6
ШВ 16У	16	126	5	0	8	1	16	16	5.6
ШВ 18У	18	144	5,1	0	4	1	16	16	5.6
ШВ 20У	20	163	5,2	0	8	2	16	20	5.6
ШВ 22У	22	181	5,4	0	8	1	16	16	5.6
ШВ 24У	24	199	5,6	0	12	2	16	20	5.6
ШВ 27У	27	227	6	0	16	2	16	20	5.6
ШВ 30У	30	254	6,5	0	16	3	16	24	5.6
ШВ 33У	33	280	7	1	20	3	16	24	5.6
ШВ 36У	36	306	7,5	1	16	3	16	24	5.6
ШВ 40У	40	343	8	1	20	4	16	24	8.8
ДВ 12	12	90	4,8	0	4	1	16	16	5.6
ДВ 14	14	109	4,9	0	4	1	16	16	5.6
ДВ 16	16	127	5	0	8	2	16	20	5.6
ДВ 18	18	145	5,1	0	4	1	16	16	5.6
ДВ 20	20	164	5,2	0	8	1	16	16	5.6
ДВ 22	22	182	5,4	0	12	1	16	16	5.6
ДВ 24	24	200	5,6	0	12	2	16	20	5.6
ДВ 27	27	228	6	0	16	2	16	20	5.6
ДВ 30	30	255	6,5	0	16	3	16	24	5.6
ДВ 33	33	281	7	1	20	3	16	24	5.6
ДВ 36	36	307	7,5	1	16	3	16	24	5.6
ДВ 40	40	344	8,3	1	20	4	16	24	8.8
ДВ 45	45	389	9	2	20	5	16	30	8.8
ДВ 50	50	435	10	2	20	5	16	30	8.8
ДВ 55	55	481	11	4	20	7	16	36	8.8
ДВ 60	60	524	12	4	20	8	16	36	10.9

В таблиці 3.4, сформованій за даними додатку А, виконане порівняння конструктивних параметрів вузлів кріплення прокатних двотаврів та швелерів однакової висоти. Аналіз цієї таблиці показує, що завдяки дуже близьким товщинам і висотам стінок двотаврів та швелерів вузли кріплення профілів однакової висоти мають однакові значення діаметра, класу міцності та кількості болтів. Наявні відмінності для профілів висотою 16 см і 20 см пояснюються різницями у висоті стінок двотаврів та швелерів. Хоча вони відрізняються усього на 1 мм, виникають формальні відмінності в умовах розміщення болтів, якими при реальному проектуванні можна було б знехтувати.

Таблиця 3.4

Порівняння конструкції вузлів обпирання двотаврів і швелерів

Профілі	Q кН	d _b мм	Клас міцності		Профілі	Q кН	d _b мм	Клас міцності	
			5.6	8.8				5.6	8.8
Дв 12	36,0	16	2		Шв 12У	36,0	16	2	
Дв 14	49,7	16	2		Шв 14У	48,4	16	2	
Дв 16	63,2	16	3		Шв 16У	62,6	16	2	
	57,7	20	2						
Дв 18	64,5	16	3		Шв 18У	63,8	16	2	
Дв 20	79,5	16	3		Шв 20У	78,8	16	3	
						70,1	20	2	
Дв 22	96,1	16	3		Шв 22У	95,3	16	3	
Дв 24	113,6	16	4		Шв 24У	112,9	16	4	
	104,3	20	3			103,5	20	3	
Дв 27	145,1	16	4		Шв 27У	144,3	16	4	
	135,1	20	3			134,3	20	3	
Дв 30	181,6	16	5		Шв 30У	180,7	16	5	
	170,8	20	4			169,9	20	4	
	159,9	24	3			159,0	24	3	
Дв 33	219,9	16	6		Шв 33У	219,9	16	6	
	208,2	20	4			208,2	20	4	
	196,5	24	3			196,5	24	3	
Дв 36	245,0	16	6		Шв 36У	243,9	16	6	
	228,3	20	4			227,3	20	4	
	211,6	24	3			210,6	24	3	
Дв 40	313,8	16	8	7	Шв 40У	301,4	16	8	7
	295,3	20	5			283,6	20	5	
	276,9	24	4			265,8	24	4	

3.3 Аналіз результатів експериментального проєктування вузлів

Нижче виконано детальний аналіз результатів експериментального проєктування вузлів бічного кріплення прокатних двотаврів і швелерів болтами класу точності В які представлені в додатку А. За даними цього додатку та зведеної таблиці 3.3 побудовані графіки, які в основному відображають залежності конструктивних параметрів з'єднань від висоти профілів.

Вплив товщини стінки двотавра чи швелера на критерій вибору кількості болтів відображають графіки з рисунка 3.1. З рисунка й таблиці додатку А видно, що у переважній більшості випадків несуча здатність вузлів обмежується міцністю стінок отворів при зминанні під болтами. Це є наслідком досить тонких стінок прокатних двотаврів і швелерів. Умова зрізу болта починає переважати при стінках товщиною 7 мм і більше, коли їх несуча здатність при зминанні стає досить великою і кількість виборів за умовою зрізу болта починає систематично збільшуватися з ростом товщини стінки.

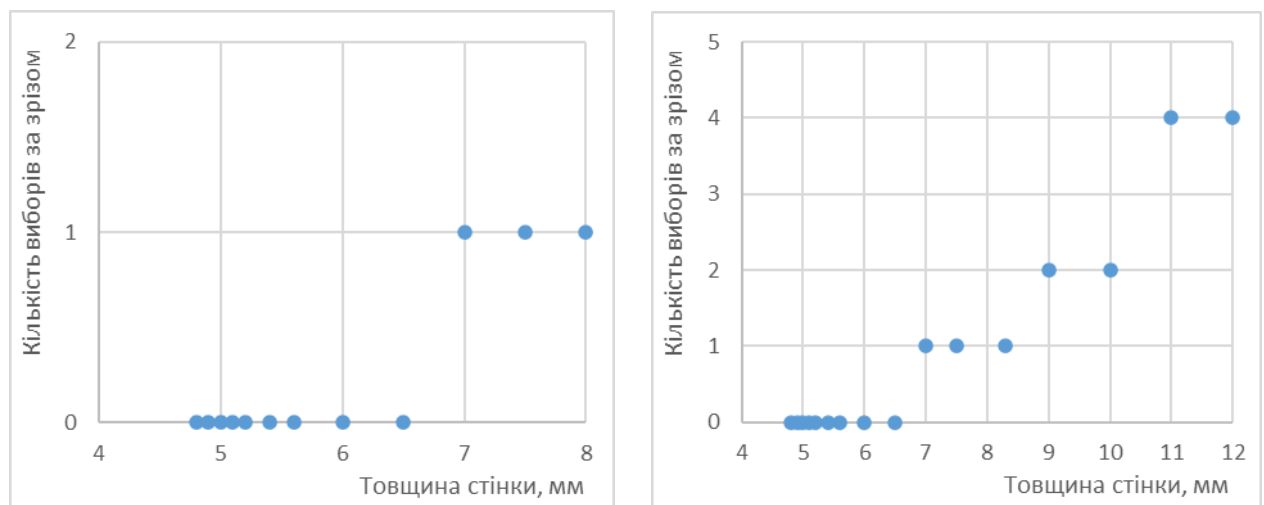


Рис. 3.1 Кількість випадків вибору числа болтів з умови зрізу

Даний висновок підтверджується також графіками з рисунка 3.2, де кількість випадків вибору числа болтів з умови зрізу пов'язана не лише з товщиною стінки, а й з висотою профілю. З графіків видно, що такий вибір характерних для двотаврів і швелерів, починаючи з висоти 33 см.

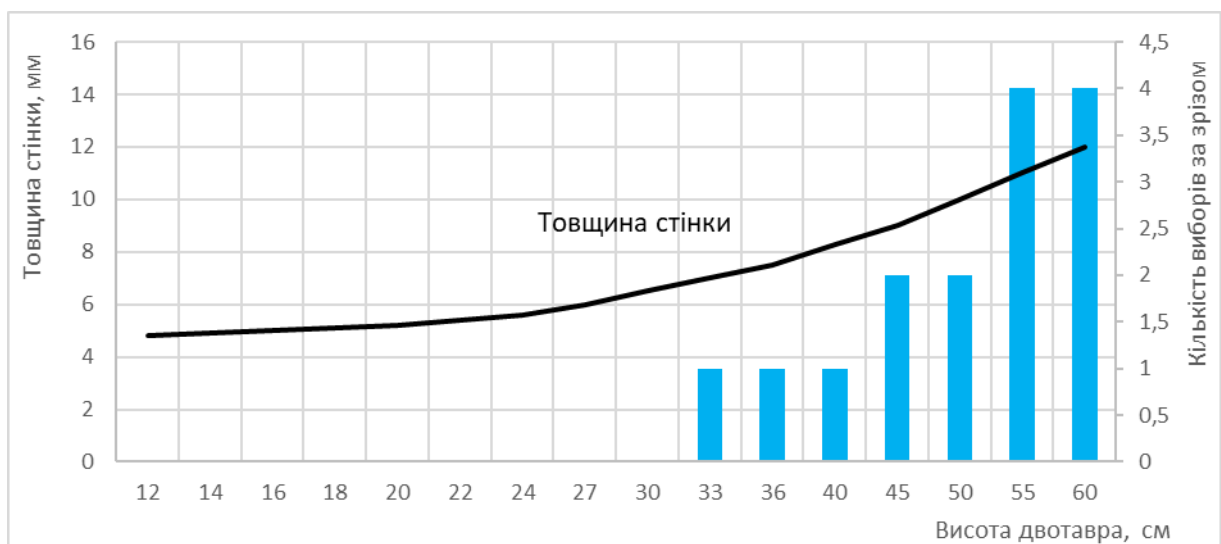
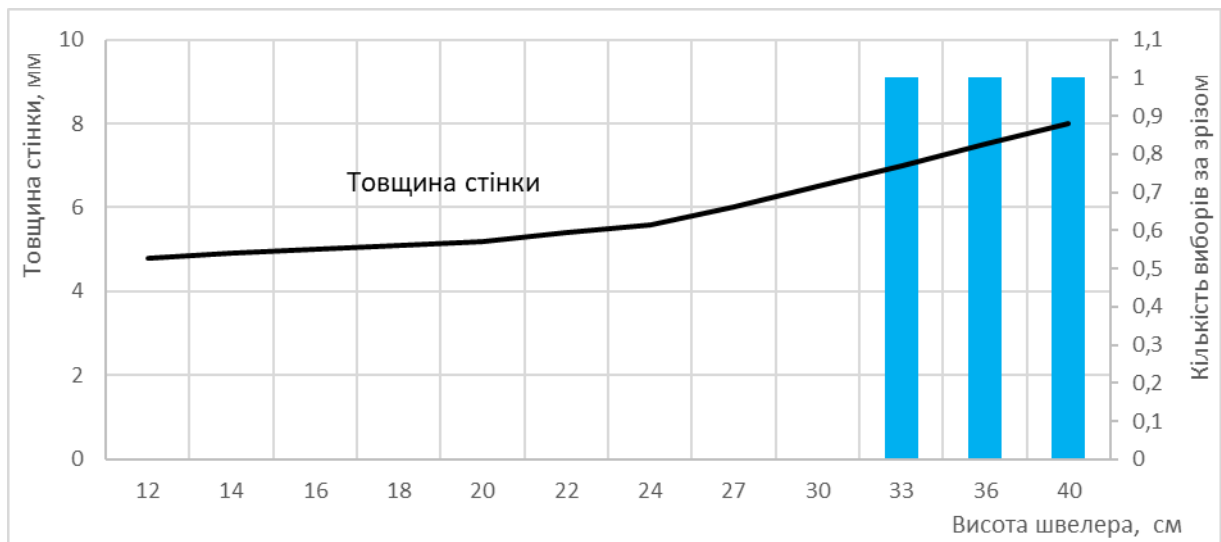


Рис. 3.2 Кількість випадків вибору числа болтів з умови зрізу для двотаврів та швелерів різної висоти

На графіках, побудованих за даними таблиці 3.3, відображені кількості можливих та раціональних рішень вузлів кріплення балок з прокатних двотаврів і швелерів болтами класу точності В. Як і було описано в розділі 2, можливими вважаються рішення вузлів, які можна реалізувати з урахуванням умов розміщення болтів та несучої здатності з'єднання. Раціональними вважаються рішення, при яких не існують варіанти з меншою кількістю болтів того ж діаметра й класу міцності або з такою ж кількістю болтів меншого діаметра чи нижчого класу міцності.

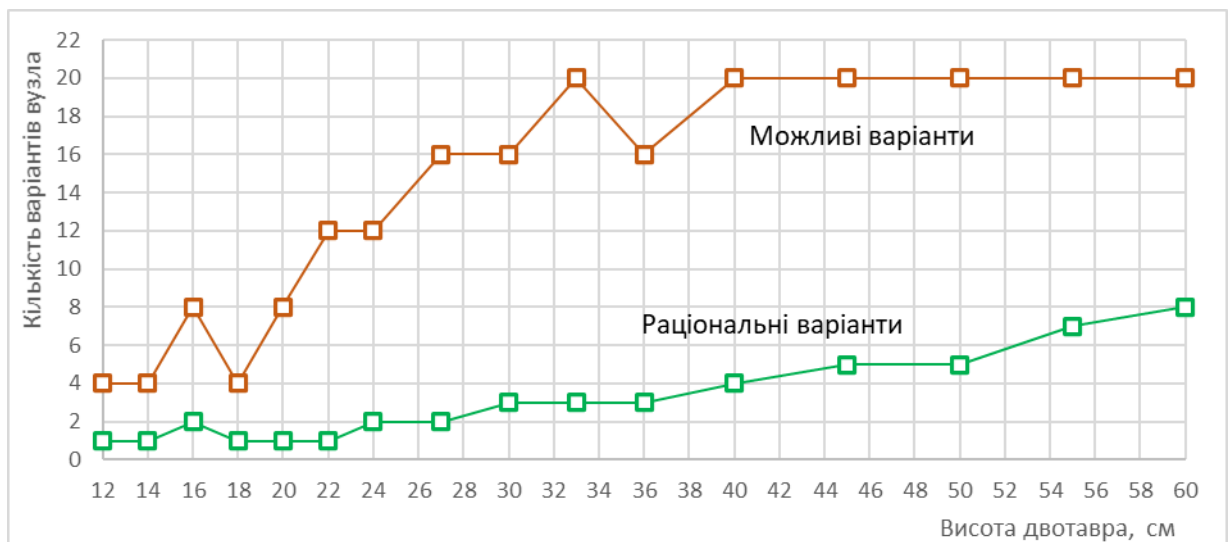
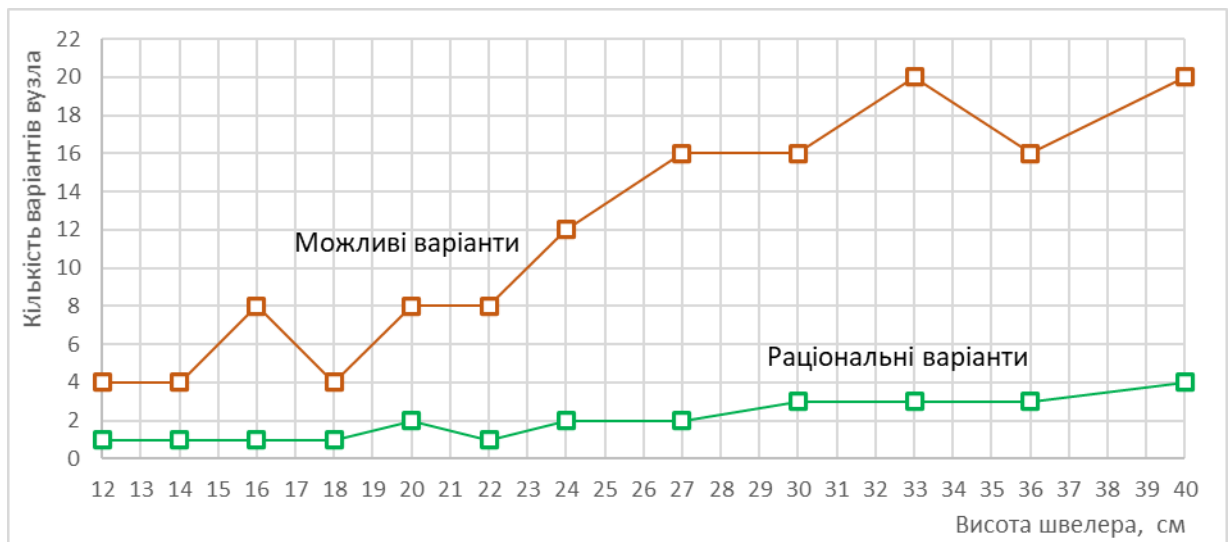


Рис. 3.3 Кількість можливих та раціональних варіантів прикріплення двотаврів та швелерів болтами нормальної точності

З рисунка 3.3 видно, що кількості можливих та раціональних варіантів вирішення вузлів бічного кріплення зростають при збільшенні висоти профілів двотаврів і швелерів. При висоті 40 см і більше умови розміщення болтів уздовж стінки дозволяють реалізувати усі 20 варіантів вузла з використанням болтів чотирьох класів міцності та п'яти діаметрів. Кількості можливих варіантів вирішення вузлів зростають до висоти двотавра чи швелера 33 см, а кількості раціональних варіантів збільшуються в усьому діапазоні висот, сягаючи 4 варіантів для швелера номер 40 і 8 варіантів для двотавра номер 60.

З ростом висоти профілю збільшується максимальний діаметр болтів, які можна використати у вузлах кріплення. Це можна побачити з графіків рисунка 3.4, які відображають залежності можливих діаметрів болтів від висоти двотаврів та швелерів. Як для швелерів, так і для двотаврів висотою до 40 см, можна використовувати болти діаметром 16, 20, і 24 мм. Двотаври більших розмірів можна також прикріплювати болтами діаметром 30 і 36 мм. Болти найменшого діаметра 16 мм можна використати для прикріплення усіх розглянутих балок.

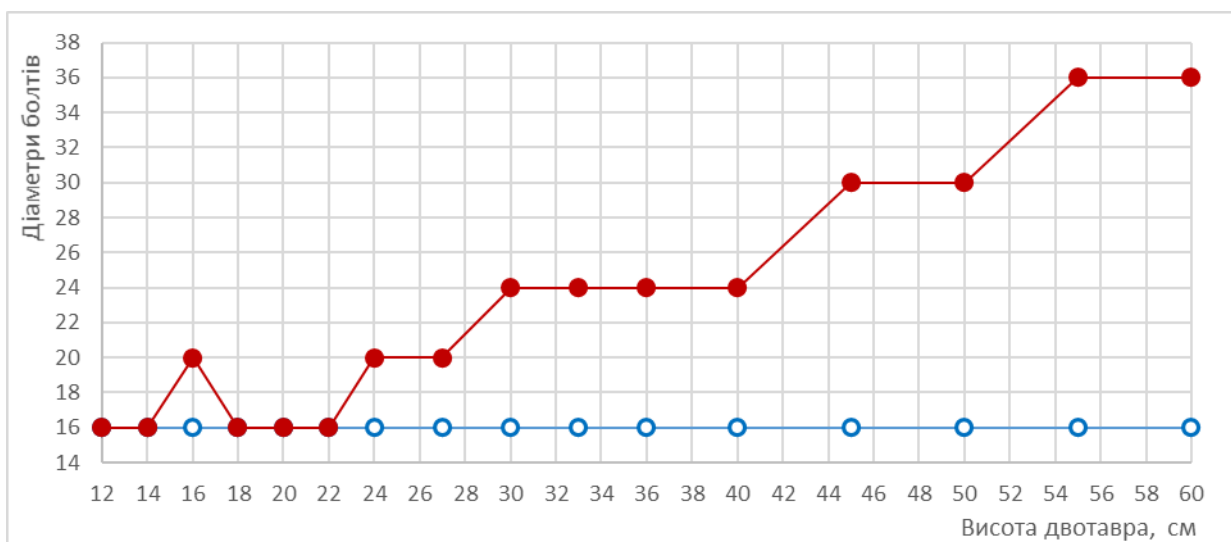
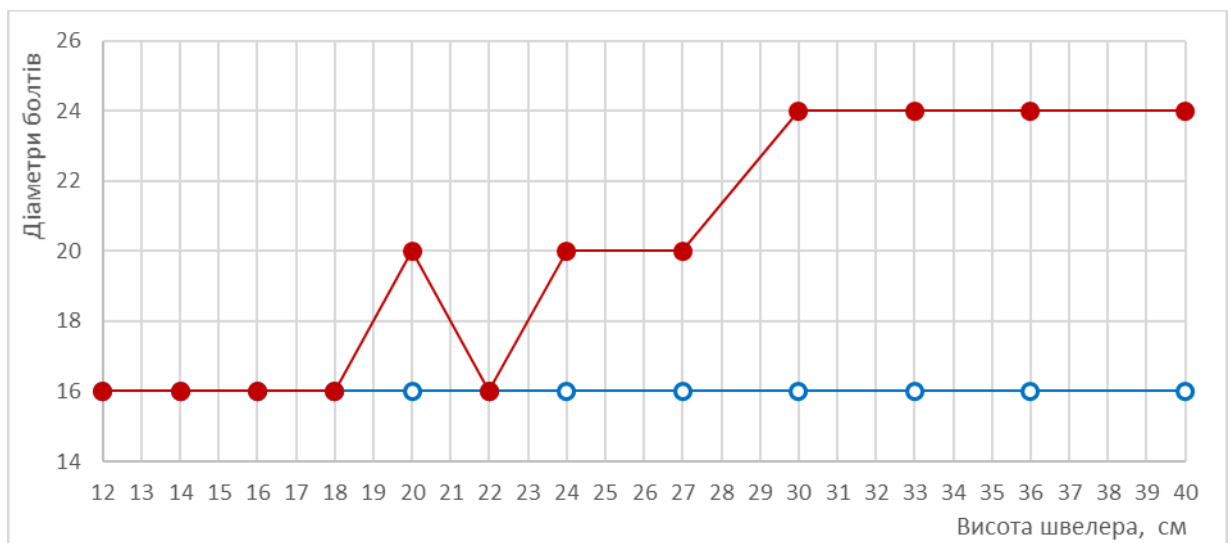


Рис. 3.4 Діапазони діаметрів болтів, які можна використати для прикріплення двотаврів та швелерів різної висоти

З ростом висоти профілю зростає також клас міцності болтів, які доцільно використовувати у вузлах кріплення. З рисунка 3.5 видно, що до висоти профілів 36 см включно раціональним є лише клас міцності 5.6. Профілі висотою 40 см і вище мають стінки товщиною не менше 8 мм та відповідно значну несучу здатність за критерієм зминання стінок отворів під болтами. Це й дозволяє збільшити міцність болтів до класу 8.8, щоб повністю використати несучу здатність стінок при зминанні під болтами. Болти класу міцності 10.9 можуть бути ефективними лише в одному варіанті кріплення двотавра номер 60, а болти класу 12.9 мають надмірно велику міцність і не повинні використовуватися.

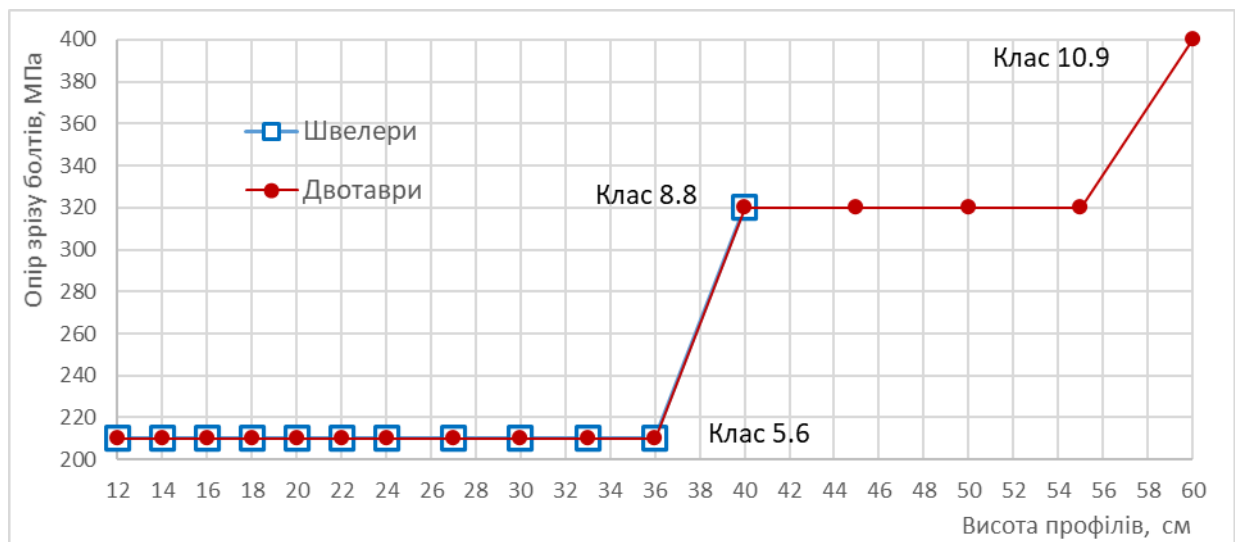


Рис. 3.5 Найвищі класи міцності болтів, які доцільно використовувати для прикріплення двотаврів та швелерів різної висоти

Виконаний аналіз конструктивних параметрів вузлів бічного кріплення балок з прокатних двотаврів та швелерів болтами нормальної точності до ребер жорсткості головної балки дозволяє зробити такі висновки:

- усі розглянуті швелери можна прикріпити 2...8 болтами діаметром 16...24 мм, а двотаври – 2...12 болтами діаметром 16...36 мм;
- балки малих профілів прикріплюються болтами діаметром 16 мм класу міцності 5.6, а з ростом висоти профілю зростають також можливі діаметри та клас міцності болтів;

- болти класу міцності 10.9 доцільно використати лише в одному варіанті кріплення двотавра номер 60, а використання болтів класу 12.9 є взагалі нераціональним унаслідок їх надмірно великої міцності на зріз;
- кількість раціональних варіантів кріплення становить 1...2 для балок малих профілів та зростає з ростом висоти балки, сягаючи чотирьох для найбільшого швелера номер 40 та восьми – для найбільшого двотавра номер 60;
- варіанти кріплення двотаврів переважно співпадають з варіантами кріплення швелерів такого ж номера, що обумовлене практично рівними значеннями товщини й висоти стінки відповідних двотаврів і швелерів.

3.4 Рекомендації щодо проєктування вузлів бічного примикання прокатних двотаврів та швелерів

Виконане експериментальне проєктування дозволило надати рекомендації щодо раціонального вибору класу міцності, діаметрів та кількості болтів нормальної точності (класу точності В), необхідних для прикріплення балок з прокатних двотаврів і швелерів з ухилом полиць до поперечних ребер жорсткості головної балки. В таблицях 3.5 і 3.6 для кожного з розглянутих у процесі проєктування двотаврів та швелерів вказані такі дані:

- позначення профілю;
- розрахункове значення поперечної сили;
- рекомендований діаметр болта класу точності В;
- необхідна кількість болтів при різних класах міцності.

Незаповнені клітинки для кількості болтів означають неможливість або нераціональність використання болтів відповідного діаметра та класу міцності. Для крупних профілів у таблицях наведено декілька варіантів раціонального рішення вузлів, які відрізняються діаметром, класом міцності та необхідною кількістю болтів.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 3.5

Рациональні варіанти кріплення двотаврів

Про- філі	Q, кН	d _b , мм	Кількість болтів класу	
			5.6	8.8
Дв 12	36,0	16	2	
Дв 14	49,7	16	2	
Дв 16	63,2	16	3	
	57,7	20	2	
Дв 18	64,5	16	3	
Дв 20	79,5	16	3	
Дв 22	96,1	16	3	
Дв 24	113,6	16	4	
	104,3	20	3	
Дв 27	145,1	16	4	
	135,1	20	3	
Дв 30	181,6	16	5	
	170,8	20	4	
	159,9	24	3	
Дв 33	219,9	16	6	
	208,2	20	4	
	196,5	24	3	
Дв 36	245,0	16	6	
	228,3	20	4	
	211,6	24	3	

Про- філі	Q, кН	d _b , мм	Кількість болтів класу міцності		
			5.6	8.8	10.9
Дв 40	313,8	16	8	7	
	295,3	20	5		
	276,9	24	4		
Дв 45	396,6	16	10	8	
	376,6	20	6		
	356,5	24	5		
	326,5	30	4		
Дв 50	504,6	16		9	
	482,3	20	8	7	
	460,1	24	5		
	426,7	30	4		
Дв 55	625,4	16		10	
	600,9	20	10	7	
	576,4	24	7	6	
	539,7	30	5		
	503,0	36	4		
Дв 60	753,9	16		12	11
	727,2	20	11	8	
	700,6	24	8	7	
	660,5	30	5		
	620,5	36	4		

Таблиці 3.5 і 3.6 дозволяють попередньо вибрати конструкцію болтового з'єднання з урахуванням профілів балок та уніфікації болтів у межах конструктивного комплексу, що проєктується. При цьому слід урахувати такі особливості та міркування:

- для прикріплення балок невеликих профілів зазвичай існує один раціональний варіант рішення вузла, який можна змінювати у бік збільшення класу міцності болтів, якщо цього вимагають умови уніфікації;

- балки крупних профілів можуть кріпитися декількома варіантами, вибір між якими також виконується з умов уніфікації болтів в межах усієї конструкції;
- необхідна кількість болтів, вказана в таблицях 3.5 і 3.6, визначена розрахунком на опорну реакцію балки, рівну несучій здатності стінки при зрізі з урахуванням ослаблення отворами під болти;
- зміна конструкції вузла при дії меншої опорної реакції балки можлива у бік зменшення класу міцності болтів після перевірки несучої здатності;
- у випадку зміни діаметра чи кількості болтів необхідно також перевірити умови їх розміщення на стінці балки згідно з вимогами ДБН [4];
- після вибору прийнятного конструктивного рішення вузла слід виконати контрольну перевірку його несучої здатності розрахунком за ДБН [4].

Таблиця 3.6

Рациональні варіанти кріплення швелерів

Про- філі	Q, кН	d _б , мм	Кількість болтів класу	
			5.6	8.8
Шв 12У	36,0	16	2	
Шв 14У	48,4	16	2	
Шв 16У	62,6	16	2	
Шв 18У	63,8	16	2	
Шв 20У	78,8	16	3	
	70,1	20	2	
Шв 22У	95,3	16	3	
Шв 24У	112,9	16	4	
	103,5	20	3	
Шв 27У	144,3	16	4	
	134,3	20	3	

Про- філі	Q, кН	d _б , мм	Кількість болтів	
			5.6	8.8
Шв 30У	180,7	16	5	
	169,9	20	4	
	159,0	24	3	
Шв 33У	219,9	16	6	
	208,2	20	4	
	196,5	24	3	
Шв 36У	243,9	16	6	
	227,3	20	4	
	210,6	24	3	
Шв 40У	301,4	16	8	7
	283,6	20	5	
	265,8	24	4	

3.5 Висновки з розділу

1. За розробленою методикою та з використанням розрахункового бланка в середовищі Microsoft Excel виконані розрахунки болтових з'єднань бічного кріплення 12 швелерів та 16 двотаврів з ухилом полицок до поперечних ребер жорсткості головних балок. Для кожного профілю розраховано 20 варіантів вузла (болти п'яти діаметрів та чотирьох класів міцності).

2. З 560 розглянутих варіантів вузлів 356 є можливими для виконання, а 73 можна вважати раціональними. Кількість можливих і раціональних рішень вузлів кріплення збільшується з ростом висоти профілю від 1 чи 2 для малих профілів до 4 раціональних варіантів для швелера номер 40 і 8 раціональних варіантів для двотавра номер 60.

3. З ростом висоти профілю збільшується максимальний діаметр болтів, які можна використати у вузлах кріплення, а мінімальний діаметр становить 16 мм для прикріплення усіх балок. Усі швелери можна прикріпити 2...8 болтами діаметром 16...24 мм, а двотаври – 2...12 болтами діаметром 16...36 мм

4. З ростом висоти профілю розширюється діапазон класів міцності болтів, які доцільно використовувати у вузлах кріплення. Болти класу міцності 10.9 доцільно використати лише в одному варіанті кріплення двотавра номер 60, а використання болтів класу 12.9 є взагалі нераціональним.

5. У переважній більшості вузлів необхідна кількість болтів визначається з умови зминання стінок отворів і тільки у вузлах прикріплення великих профілів з товщиною стінки 7 мм і більше вирішальною умовою може стати зріз болтів.

6. Варіанти кріплення двотаврів переважно співпадають з варіантами кріплення швелерів такого ж номера, що обумовлене практично рівними значеннями товщини й висоти стінки відповідних двотаврів і швелерів.

7. Розроблені досить компактні таблиці, які дозволяють попередньо вибрати конструкцію болтового з'єднання з урахуванням профілів балок та уніфікації болтів у межах конструктивного комплексу, що проєктується.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати експериментального проектування болтових з'єднань у вузлах бічного примикання головних балок і балок настилу з прокатних двотаврів і швелерів до ребер жорсткості головної балки дозволили зробити такі висновки:

1. Другорядні балки та балки настилу балкових кліток можуть обпиралися на головну балку зверху та прикріплюватися фіксуючими болтами грубої точності, або прикріплюватися до ребра жорсткості головної балки (в одному рівні чи понижено) болтами нормальної точності, які працюють на зріз болта і на зминання стінок отворів з'єднуваних елементів.
2. Методи розрахунку та вимоги до конструювання з'єднань на болтах усіх видів унормовані в ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції" зі Зміною №1 видання 2022 року та детально роз'яснені в численній навчальній і довідковій літературі, але рекомендації щодо вибору раціонального класу міцності та діаметра болтів нормальної точності у вузлах бічного обпирання балок в літературних джерелах відсутні.
3. За ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції» та іншими джерелами сформульовані передумови, встановлені загальні вихідні дані, розроблений і реалізований у формі розрахункового бланку Microsoft Excel алгоритм розрахунку та конструювання вузлів бічного кріплення другорядних балок до ребер жорсткості головної балки на болтах нормальної точності.
4. Необхідна кількість болтів у з'єднанні визначається при дії зусилля. рівного несучій здатності стінки прикріпленої балки при зрізі з урахуванням її ослаблення отворами для мінімально можливої кількості болтів. Розроблений розрахунковий бланк передбачає визначення необхідної кількості болтів діаметром 16, 20, 24, 30, 36 мм класів міцності 5.6, 8.8, 10.9, 12.9. Порядок виконання розрахунків та методика аналізу отриманих результатів проілюстровані прикладами розрахунку кріплення прокатних двотаврів з ухилом полиць номер 20 і номер 50.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

5. За розробленою методикою з використанням розрахункового бланка Microsoft Excel виконані розрахунки болтових з'єднань бічного кріплення 12 швелерів та 16 двотаврів з ухилом полицок до поперечних ребер жорсткості головних балок. Для кожного профілю розраховано 20 варіантів вузла (болти п'яти діаметрів та чотирьох класів міцності).
6. Аналіз результатів виконаних розрахунків показав, що більша частина з 560 розглянутих комбінацій профілю балок, класу міцності та діаметра болта не можуть бути реалізовані унаслідок неможливості однорядного розміщення болтів, або є нераціональними, оскільки існують варіанти з такою ж кількістю болтів меншого діаметра чи нижчого класу міцності. Можливими для виконання є 356 варіантів вузлів, а 73 з них можна вважати раціональними. Кількість раціональних рішень вузлів збільшується з ростом висоти профілю від 1 чи 2 для малих профілів до 4 раціональних варіантів для швелера номер 40 і 8 раціональних варіантів для двотавра номер 60.
7. З ростом висоти профілю збільшується максимальний діаметр та клас міцності болтів, які доцільно використовувати у вузлах кріплення. Усі швелери можна прикріпити 2...8 болтами діаметром 16...24 мм, а двотаври – 2...12 болтами діаметром 16...36 мм. Болти класу міцності 10.9 доцільно використати лише в одному варіанті кріплення двотавра номер 60, а використання болтів класу 12.9 є повністю нераціональним.
8. У переважній більшості вузлів необхідна кількість болтів визначається з умови зминання стінок отворів і тільки у вузлах прикріплення великих профілів з товщиною стінки 7 мм і більше вирішальною умовою може стати зріз болтів. Варіанти кріплення двотаврів та швелерів однієї висоти практично співпадають між собою.
9. Практичним результатом дослідження є таблиці, які дозволяють попередньо вибрати конструкцію болтового з'єднання з урахуванням профілів балок та уніфікації болтів у межах конструктивного комплексу, що проектується.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

GENERAL CONCLUSIONS ACCORDING TO RESEARCH RESULTS

The results of the experimental design of the bolted connections in the nodes of the lateral adjacency of the main beams and deck beams made of rolled I-beams and channels to the stiffening ribs of the main beam made it possible to draw the following conclusions:

1. Secondary beams and beams of the beam cage floor can rest on the main beam from above and be attached with fixing bolts of rough accuracy, or be attached to the stiffening rib of the main beam (at the same level or lowered) with bolts of normal accuracy, which work on the shear of the bolt and on the crumpling of the walls of the holes connected elements.

2. Calculation methods and requirements for the design of bolted connections of all types are standardized in DBN B.2.6-198:2014 "Steel structures" with Amendment No. 1 of the 2022 edition and are explained in detail in numerous educational and reference literature, but the recommendations regarding the choice of a rational class of strength and diameter of bolts of normal accuracy in nodes of lateral support of beams in the literature sources are absent.

3. According to DBN B.2.6-198:2014 "Steel constructions" and other sources, the prerequisites were formulated, the general output data were established, the algorithm for calculation and construction of lateral fastening nodes of secondary beams to the stiffeners of the main beam was developed and implemented in the form of a Microsoft Excel spreadsheet bolts of normal accuracy.

4. The required number of bolts in the connection is determined by the force. equal to the bearing capacity of the wall of the attached beam when cut, taking into account its weakening through holes for the minimum possible number of bolts. The developed calculation form provides for determining the required number of bolts with a diameter of 16, 20, 24, 30, 36 mm of strength classes 5.6, 8.8, 10.9, 12.9. The procedure for performing calculations and the method of analyzing the obtained results are illustrated by examples of calculating the fastening of rolled I-beams with a slope of shelves number 20 and number 50.

					КМР 2319218 ПЗ	Архив
						56
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

5. According to the developed method using the Microsoft Excel calculation form, the calculations of the bolted connections of the lateral fastening of 12 channels and 16 I-beams with the inclination of the shelves to the transverse stiffeners of the main beams were performed. For each profile, 20 node options are calculated (bolts of five diameters and four strength classes).

6. Analysis of the results of the performed calculations showed that most of the 560 considered combinations of beam profile, strength class and bolt diameter cannot be implemented due to the impossibility of single-row placement of bolts, or are irrational, as there are options with the same number of bolts of smaller diameter or lower class strength. There are 356 node variants possible, and 73 of them can be considered rational. The number of rational node solutions increases with the growth of the profile height from 1 or 2 for small profiles to 4 rational options for channel number 40 and 8 rational options for girder number 60.

7. As the height of the profile increases, the maximum diameter and strength class of bolts, which should be used in fastening nodes, increases. All channels can be attached with 2...8 bolts with a diameter of 16...24 mm, and I-beams - with 2...12 bolts with a diameter of 16...36 mm. It is advisable to use bolts of strength class 10.9 only in one version of fastening the number 60 I-beam, and the use of bolts of class 12.9 is completely irrational.

8. In the vast majority of nodes, the required number of bolts is determined by the condition of crumpling the walls of the holes, and only in the nodes of attachment of large profiles with a wall thickness of 7 mm or more, the cut of the bolts can be a decisive condition. Options for attaching I-beams and channels of the same height are practically the same.

9. The practical result of the research is tables that allow you to pre-select the design of the bolted connection, taking into account the profiles of the beams and the unification of the bolts within the designed structural complex.

					КМР 2319218 ПЗ	Архив
						57
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН А.3.2-2-2009 Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. К.: 2012.
2. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі зміною № 1. К., 2022. – 34 с.
3. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі зміною № 1 та № 2. К., 2020. – 68 с.
4. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі зміною № 1. К., 2022. – 220 с.
5. ДСТУ 8768:2018 Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент.
6. ДСТУ ГОСТ 5915:2008 Гайки шестигранні класу точності В. Конструкція і розміри
7. ДСТУ 3436–96 (ГОСТ 8240–97) Швелери сталеві гарячекатані. Сортамент. К.: Держстандарт України, 2002. – 7 с.
8. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. К.: Мінбуд України, 2006.
9. ДСТУ Б В.2.6-200:2014 Конструкції металеві будівельні. Вимоги до монтажу.
10. ДСТУ ГОСТ 7798:2008. Болти з шестигранною головкою класу точності В. Конструкція і розміри. Зі змінами № 1-4.
11. Інструкція з охорони праці при монтажу сталевих та залізобетонних конструкцій [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://trudova-ohrana.ru/primery-dokumentov/prikladi-nstrukcj-z-ohoroni-prac-ukranskoju/4061-nstrukcja-z-ohoroni-prac-pd-chas-vikonannja-robt-z-montazhu-metalevih--zalzobetonnih-konstrukcj.html>

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

12. Кваліфікаційна магістерська робота. Методичні рекомендації для здобувачів освіти спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. / В.А. Пашинський, В.А. Настоящий. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 33 с.
13. Клименко Ф. Є., Барабаш В. М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції: / За ред. Ф.Є Клименка : Підручник. – 2-ге видання, випр. і доп. – Львів: Світ, 2002. – 312 с.
14. Компания Каравела. Кріплення та металовироби. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.caravella.com.ua/krepezh-i-metizy/>
15. Конструкції цивільних будівель. Під загальною ред. М.С. Туполева. М.: «Архітектура-С», 2006.
16. Металеві конструкції. Методичні вказівки до виконання курсової роботи "Балочна клітка" для студентів спеціальності 7.092101" Промислове і цивільне будівництво" всіх форм навчання. Укладач Портнов Г.Б. – Кіровоград: КНТУ, 2010. - 147 с.
17. Металеві конструкції. Методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності "Промислове та цивільне будівництво" усіх форм навчання. Укладач Пашинський В.А. – Кіровоград: КНТУ, 2011. - 31 с.
18. Металеві конструкції. Методичні вказівки та інформаційні матеріали для курсового та дипломного проектування за напрямом підготовки "Будівництво", спеціальністю "Промислове та цивільне будівництво". – Кіровоград: КНТУ, 2012. - 39 с.
19. Металеві конструкції. Методичні рекомендації до виконання курсової роботи “Проектування сталевого каркасу одноповерхової будівлі” для здобувачів освіти усіх форм навчання за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 62 с.
20. Металобаза «Стіллар» [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Київ. Режим доступу: https://www.ssc.org.ua/metal/price_page.html (дата звернення 10.05.2018) – Назва з екрана.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

21. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Будівельні конструкції» студентами професійного спрямування «Будівництво» всіх форм навчання. / Романюк В.В. – Рівне: НУВГП, 2009.– 45 с. <https://studfiles.net/preview/5198622/>
22. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В. та ін. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів. – Видання 2-е, переробл. і доповн.. – К.: Видавництво "Сталь", 2010. – 869 с.
23. Пашинський В.А., Пашинський М.В. Статистичні методи в інженерних дослідженнях. Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти з інженерних спеціальностей. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 106 с.
24. Романюк В.В., Василенко В.Б. Використання металевих конструкцій для покриття виробничих і громадських будівель / Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, випуск 1, 2014 – С. 112-118.
25. Савченко І.І. Архітектура будівель і споруд // Конспект лекцій. - Київ: КНУБА, 2011.
26. Сафонов В.В. та ін. Інженерні рішення з охорони праці при розробці дипломних проектів інженерно-будівельних спеціальностей: Навчальний посібник. – К.: Основа, 2011. – 480 с.
27. Системи кріплення. Болти. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://maysterfix.com/g9429243-bolty>
28. Український центр сталевих будівництва. Актуальний асортимент металопрокату. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://uscc.ua/uploads/page/images/Sortament/aktualniy-sortament-metaloprokatu-2021-02-11.pdf>

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Додаток А
РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ БОЛТОВИХ З'ЄДНАНЬ

Характеристики сталі балок

Сталь С 245

R_y= 240

R_s= 139

R_{un}= 370

R_{bp}= 485

γ_b= 0,8

Характеристики міцності болтів

Клас міцності болта 5.6 8.8 10.9 12.9

R_{bs} = 210 320 400 420

Характерис- тики балок		d _b мм	A _b см ²	d мм	n _{min}	n _{max} x	Q кН	n _b класу міцності				n _b з умови зрізу				n _b з умови змінання			
								5.6	8.8	10.0	12.9	5.6	8.8	10.0	12.9	5.6	8.8	10.0	12.9
Балка	Шв 12У	16	2,00	18	2	2	36,0	2	2	2	2	0,86	0,56	0,45	0,43	1,21	1,21	1,21	1,21
Стінка	90	20	3,12	22	2	1	30,7	1	1	1	1	0,47	0,31	0,25	0,23	0,82	0,82	0,82	0,82
C255	4,8	24	4,49	26	2	1	25,4	1	1	1	1	0,27	0,18	0,14	0,13	0,57	0,57	0,57	0,57
R _s =	139	30	7,02	32	2	0	17,3	1	1	1	1	0,12	0,08	0,06	0,06	0,31	0,31	0,31	0,31
Q=	60,0	36	10,11	38	2	0	9,3	1	1	1	1	0,04	0,03	0,02	0,02	0,14	0,14	0,14	0,14
Балка	Шв 14У	16	2,00	18	2	2	48,4	2	2	2	2	1,15	0,76	0,61	0,58	1,59	1,59	1,59	1,59
Стінка	107	20	3,12	22	2	1	42,9	2	2	2	2	0,65	0,43	0,34	0,33	1,13	1,13	1,13	1,13
C255	4,9	24	4,49	26	2	1	37,5	1	1	1	1	0,40	0,26	0,21	0,20	0,82	0,82	0,82	0,82
R _s =	139	30	7,02	32	2	1	29,3	1	1	1	1	0,20	0,13	0,10	0,10	0,51	0,51	0,51	0,51
Q=	72,9	36	10,11	38	2	0	21,1	1	1	1	1	0,10	0,07	0,05	0,05	0,31	0,31	0,31	0,31
Балка	Шв 16У	16	2,00	18	2	3	62,6	2	2	2	2	1,49	0,98	0,78	0,75	2,02	2,02	2,02	2,02
Стінка	126	20	3,12	22	2	2	57,0	2	2	2	2	0,87	0,57	0,46	0,43	1,47	1,47	1,47	1,47
C255	5	24	4,49	26	2	1	51,4	2	2	2	2	0,55	0,36	0,29	0,27	1,10	1,10	1,10	1,10
R _s =	139	30	7,02	32	2	1	43,1	1	1	1	1	0,29	0,19	0,15	0,15	0,74	0,74	0,74	0,74
Q=	87,6	36	10,11	38	2	1	34,8	1	1	1	1	0,16	0,11	0,09	0,08	0,50	0,50	0,50	0,50

КМР 2319218 ПЗ

ЗМ.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	КМР 2319218 ПЗ	Архив	62	Характерис- тики балок	d _b мм	A _b см ²	d мм	n _{min}	n _{max} x	Q кН	n _b класу міцності				n _b з умови зрізу				n _b з умови зминання																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
															5.6	8.8	10.0	12.9	5.6	8.8	10.0	12.9	5.6	8.8	10.0	12.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

ЗМ.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	КМР 2319218 ПЗ	Аркш	64	Характерис- тики балок	d _b мм	A _b см ²	d мм	n _{min}	n _{ма} x	Q кН	n _b класу міцності				n _b з умови зрізу				n _b з умови зминання						
															5.6	8.8	10.0	12.9	5.6	8.8	10.0	12.9	5.6	8.8	10.0	12.9			
								Балка	Шв 40У	16	2,00	18	4	9	301,4	8	7	7	7	7,19	4,72	3,77	3,59	6,07	6,07	6,07	6,07		
								Стінка	343	20	3,12	22	4	7	283,6	5	5	5	5	4,33	2,84	2,27	2,16	4,57	4,57	4,57	4,57		
								C255	8	24	4,49	26	4	6	265,8	4	4	4	4	2,82	1,85	1,48	1,41	3,57	3,57	3,57	3,57		
								Rs=	139	30	7,02	32	4	4	239,1	3	3	3	3	1,62	1,06	0,85	0,81	2,57	2,57	2,57	2,57		
								Q=	381,4	36	10,11	38	4	4	212,4	2	2	2	2	1,00	0,66	0,53	0,50	1,90	1,90	1,90	1,90		
								Балка	Дв 12	16	2,00	18	2	2	36,0	2	2	2	2	0,86	0,56	0,45	0,43	1,21	1,21	1,21	1,21		
								Стінка	90	20	3,12	22	2	1	30,7	1	1	1	1	0,47	0,31	0,25	0,23	0,82	0,82	0,82	0,82		
								C255	4,8	24	4,49	26	2	1	25,4	1	1	1	1	0,27	0,18	0,14	0,13	0,57	0,57	0,57	0,57		
								Rs=	139	30	7,02	32	2	0	17,3	1	1	1	1	0,12	0,08	0,06	0,06	0,31	0,31	0,31	0,31		
								Q=	60,0	36	10,11	38	2	0	9,3	1	1	1	1	0,04	0,03	0,02	0,02	0,14	0,14	0,14	0,14		
								Балка	Дв 14	16	2,00	18	2	2	49,7	2	2	2	2	1,19	0,78	0,62	0,59	1,63	1,63	1,63	1,63		
								Стінка	109	20	3,12	22	2	1	44,3	2	2	2	2	0,68	0,44	0,35	0,34	1,16	1,16	1,16	1,16		
								C255	4,9	24	4,49	26	2	1	38,8	1	1	1	1	0,41	0,27	0,22	0,21	0,85	0,85	0,85	0,85		
								Rs=	139	30	7,02	32	2	1	30,6	1	1	1	1	0,21	0,14	0,11	0,10	0,54	0,54	0,54	0,54		
								Q=	74,2	36	10,11	38	2	0	22,5	1	1	1	1	0,11	0,07	0,06	0,05	0,33	0,33	0,33	0,33		
								Балка	Дв 16	16	2,00	18	2	3	63,2	3	3	3	3	1,51	0,99	0,79	0,75	2,04	2,04	2,04	2,04		
								Стінка	127	20	3,12	22	2	2	57,7	2	2	2	2	0,88	0,58	0,46	0,44	1,49	1,49	1,49	1,49		
								C255	5	24	4,49	26	2	1	52,1	2	2	2	2	0,55	0,36	0,29	0,28	1,12	1,12	1,12	1,12		
								Rs=	139	30	7,02	32	2	1	43,8	1	1	1	1	0,30	0,19	0,16	0,15	0,75	0,75	0,75	0,75		
								Q=	88,3	36	10,11	38	2	1	35,4	1	1	1	1	0,17	0,11	0,09	0,08	0,51	0,51	0,51	0,51		

ЗМ.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	КМР 2319218 ПЗ																	Аркуш
Характерис- тики балок		d _b мм	A _b см ²	d мм	n _{min}	n _{ма} х	Q кН	n _b класу міцності				n _b з умови зрізу				n _b з умови зминання						
								5.6	8.8	10.0	12.9	5.6	8.8	10.0	12.9	5.6	8.8	10.0	12.9			
Балка	Дв 18	16	2,00	18	3	3	64,5	3	3	3	3	1,54	1,01	0,81	0,77	2,04	2,04	2,04	2,04			
Стінка	145	20	3,12	22	3	2	56,0	2	2	2	2	0,85	0,56	0,45	0,43	1,42	1,42	1,42	1,42			
C255	5,1	24	4,49	26	3	2	47,5	1	1	1	1	0,50	0,33	0,26	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00			
Rs=	139	30	7,02	32	3	1	34,7	1	1	1	1	0,24	0,15	0,12	0,12	0,59	0,59	0,59	0,59			
Q=	102,8	36	10,11	38	3	1	22,0	1	1	1	1	0,10	0,07	0,05	0,05	0,31	0,31	0,31	0,31			
Балка	Дв 20	16	2,00	18	3	4	79,5	3	3	3	3	1,90	1,24	1,00	0,95	2,46	2,46	2,46	2,46			
Стінка	164	20	3,12	22	3	3	70,8	2	2	2	2	1,08	0,71	0,57	0,54	1,76	1,76	1,76	1,76			
C255	5,2	24	4,49	26	3	2	62,2	2	2	2	2	0,66	0,43	0,35	0,33	1,28	1,28	1,28	1,28			
Rs=	139	30	7,02	32	3	2	49,2	1	1	1	1	0,33	0,22	0,18	0,17	0,81	0,81	0,81	0,81			
Q=	118,5	36	10,11	38	3	1	36,1	1	1	1	1	0,17	0,11	0,09	0,09	0,50	0,50	0,50	0,50			
Балка	Дв 22	16	2,00	18	3	4	96,1	3	3	3	3	2,29	1,50	1,20	1,15	2,87	2,87	2,87	2,87			
Стінка	182	20	3,12	22	3	3	87,1	3	3	3	3	1,33	0,87	0,70	0,66	2,08	2,08	2,08	2,08			
C255	5,4	24	4,49	26	3	3	78,1	2	2	2	2	0,83	0,54	0,43	0,41	1,55	1,55	1,55	1,55			
Rs=	139	30	7,02	32	3	2	64,6	2	2	2	2	0,44	0,29	0,23	0,22	1,03	1,03	1,03	1,03			
Q=	136,6	36	10,11	38	3	1	51,0	1	1	1	1	0,24	0,16	0,13	0,12	0,68	0,68	0,68	0,68			
Балка	Дв 24	16	2,00	18	3	5	113,6	4	4	4	4	2,71	1,78	1,42	1,36	3,27	3,27	3,27	3,27			
Стінка	200	20	3,12	22	3	4	104,3	3	3	3	3	1,59	1,04	0,84	0,80	2,40	2,40	2,40	2,40			
C255	5,6	24	4,49	26	3	3	95,0	2	2	2	2	1,01	0,66	0,53	0,50	1,82	1,82	1,82	1,82			
Rs=	139	30	7,02	32	3	2	81,0	2	2	2	2	0,55	0,36	0,29	0,27	1,24	1,24	1,24	1,24			
Q=	155,7	36	10,11	38	3	2	66,9	1	1	1	1	0,32	0,21	0,17	0,16	0,86	0,86	0,86	0,86			

ЗМ.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	КМР 2319218 ПЗ	Характерис- тики балок		d _b мм	A _b см ²	d мм	n _{min}	n _{max} x	Q кН	n _b класу міцності				n _b з умови зрізу				n _b з умови зминання																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
														5.6	8.8	10.0	12.9	5.6	8.8	10.0	12.9	5.6	8.8	10.0	12.9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															</

ЗМ.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	КМР 2319218 ПЗ																	Архив	67
Характерис- тики балок		d _b мм	A _b см ²	d мм	n _{min}	n _{max} x	Q кН	n _b класу міцності				n _b з умови зрізу				n _b з умови зминання							
								5.6	8.8	10.0	12.9	5.6	8.8	10.0	12.9	5.6	8.8	10.0	12.9				
Балка	Дв 40	16	2,00	18	4	9	313,8	8	7	7	7	7,48	4,91	3,93	3,74	6,09	6,09	6,09	6,09				
Стінка	344	20	3,12	22	4	7	295,3	5	5	5	5	4,51	2,96	2,37	2,25	4,59	4,59	4,59	4,59				
C255	8,3	24	4,49	26	4	6	276,9	4	4	4	4	2,93	1,93	1,54	1,47	3,58	3,58	3,58	3,58				
Rs=	139	30	7,02	32	4	4	249,2	3	3	3	3	1,69	1,11	0,89	0,85	2,58	2,58	2,58	2,58				
Q=	396,9	36	10,11	38	4	4	221,5	2	2	2	2	1,04	0,68	0,55	0,52	1,91	1,91	1,91	1,91				
Балка	Дв 45	16	2,00	18	4	10	396,6	10	8	8	8	9,46	6,21	4,97	4,73	7,10	7,10	7,10	7,10				
Стінка	389	20	3,12	22	4	8	376,6	6	6	6	6	5,75	3,77	3,02	2,87	5,39	5,39	5,39	5,39				
C255	9	24	4,49	26	4	6	356,5	5	5	5	5	3,78	2,48	1,98	1,89	4,25	4,25	4,25	4,25				
Rs=	139	30	7,02	32	4	5	326,5	4	4	4	4	2,21	1,45	1,16	1,11	3,12	3,12	3,12	3,12				
Q=	486,6	36	10,11	38	4	4	296,5	3	3	3	3	1,40	0,92	0,73	0,70	2,36	2,36	2,36	2,36				
Балка	Дв 50	16	2,00	18	4	11	504,6	12	9	9	9	12,03	7,90	6,32	6,02	8,13	8,13	8,13	8,13				
Стінка	435	20	3,12	22	4	9	482,3	8	7	7	7	7,36	4,83	3,86	3,68	6,22	6,22	6,22	6,22				
C255	10	24	4,49	26	4	7	460,1	5	5	5	5	4,88	3,20	2,56	2,44	4,94	4,94	4,94	4,94				
Rs=	139	30	7,02	32	4	6	426,7	4	4	4	4	2,89	1,90	1,52	1,45	3,67	3,67	3,67	3,67				
Q=	604,7	36	10,11	38	4	5	393,4	3	3	3	3	1,85	1,22	0,97	0,93	2,82	2,82	2,82	2,82				
Балка	Дв 55	16	2,00	18	4	12	625,4	15	10	10	10	14,91	9,79	7,83	7,46	9,16	9,16	9,16	9,16				
Стінка	481	20	3,12	22	4	10	600,9	10	7	7	7	9,17	6,02	4,81	4,59	7,04	7,04	7,04	7,04				
C255	11	24	4,49	26	4	8	576,4	7	6	6	6	6,11	4,01	3,21	3,05	5,63	5,63	5,63	5,63				
Rs=	139	30	7,02	32	4	7	539,7	5	5	5	5	3,66	2,40	1,92	1,83	4,22	4,22	4,22	4,22				
Q=	735,4	36	10,11	38	4	5	503,0	4	4	4	4	2,37	1,56	1,24	1,18	3,27	3,27	3,27	3,27				

Додаток Б

ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ МОНТАЖІ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Б.1. Організація праці при виконанні монтажних робіт

1. Під час монтажу будівельних конструкцій, виробів, трубопроводів і обладнання (далі - виконання монтажних робіт) необхідно передбачати заходи із запобігання негативному впливу на працівників таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- розташування робочих місць поблизу перепаду по висоті 1,3 м і більше;
- машини, що рухаються, їх робочі органи; переміщення конструкцій, матеріалів;
- обвалення елементів конструкцій будівель і споруд;
- падіння матеріалів, інструменту;
- виконання робіт у зоні поблизу повітряних ліній електропередачі;
- піднімання вантажів, вага яких перевищує вантажопідйомність механізмів;
- недостатня жорсткість конструкції, яка може призвести до її руйнування під час монтажу;
- перекидання машин, падіння їх частин;
- недостатня освітленість робочого місця;
- підвищена напруга в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини.

2. За наявності небезпечних і шкідливих виробничих факторів, зазначених вище, безпека монтажних робіт повинна бути забезпечена відповідно до цих норм, рішень проектно-технічної документації (ПОБ, ПВР тощо), зазначених заходів безпеки праці:

- точного визначення місця встановлення крана із зазначенням його марки, позначенням небезпечних зон під час його роботи;
- зазначення ваги вантажу, що піднімається;

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

- забезпечення безпеки робочих місць на висоті;
- визначення послідовності та забезпечення безпечного встановлення конструкцій;
- забезпечення стійкості конструкцій і частин будинку під час зведення;
- зазначення схем і способів укрупнювального складання елементів конструкцій.

3. Під час монтажних робіт безпеку праці необхідно забезпечувати з урахуванням вимог розділу 7 ДБН А.3.2-2-2009 [1], ДСТУ [9], інструкції [11], а також рекомендацій [26].

4. У робочій зоні монтажних робіт не допускається виконання інших робіт і перебування сторонніх осіб.

5. Під час зведення будинків і споруд забороняється виконувати роботи, пов'язані з перебуванням людей на одній ділянці на поверхах (ярусах), над якими переміщують, встановлюють і тимчасово закріплюють елементи конструкцій та обладнання.

За неможливості розподілення будинків і споруд на окремі ділянки одночасне виконання монтажних та інших будівельних робіт на різних поверхах (ярусах) дозволяється тільки за наявності між ними надійних (обґрунтованих відповідними розрахунками на дію ударних навантажень) міжповерхових перекриттів, що передбачені у ПВР.

6. Використання встановлених конструкцій для прикріплення до них вантажних поліспастів, відвідних блоків та інших монтажних пристосувань допускається тільки за згодою проектної організації, яка виконала робочі креслення конструкцій.

7. Установлені в проектне положення елементи конструкцій чи обладнання повинні бути закріплені так, щоб забезпечувалася їх стійкість і геометрична незмінність. Розстропування елементів конструкцій і обладнання, які установлені у проектне положення, необхідно робити після постійного або тимчасового їх закріплення відповідно до проекту. Переміщувати встановлені елементи

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

конструкцій чи обладнання після їх розстропування без використання монтажного оснащення, передбаченого ПВР, не допускається.

8. До закінчення вивіряння і надійного закріплення встановлених елементів не допускається обпирання на них конструкцій, що розташовані вище, якщо це не передбачено ПВР.

9. Стропувати вантаж, що перебуває у хиткому положенні, а також пересувати пристосування на піднятому вантажі заборонено.

10. Під час насування (переміщення) конструкцій і обладнання лебідками вантажопідйомність гальмових лебідок і поліспастів повинна дорівнювати вантажопідйомності тягових засобів, якщо інші вимоги не визначено проектом.

11. Забороняється виконання монтажних робіт на висоті у відкритих місцях за швидкості вітру 15 м/с і більше, під час ожеледі, грози, туману, що унеможливорює видимість у межах фронту робіт.

Роботи з переміщення і установлення конструкцій, що мають велику парусність, необхідно зупиняти за швидкості вітру 10 м/с і більше.

12. Під час монтажу конструкцій із рулонних заготовок необхідно вживати заходів з унеможливлення самовільного згортання рулону.

13. Під час складання горизонтальних циліндричних ємностей, що складаються з окремих царг, необхідно застосовувати клинові прокладки та інші пристосування, що унеможливлюють мимовільне скочування царг.

14. Укрупнювальне складання таких, що підлягають монтажу, конструкцій і обладнання, необхідно виконувати у спеціально призначених для цього місцях.

15. Переміщення конструкцій чи обладнання кількома кранами (або піднімальними чи тяговими засобами) необхідно здійснювати згідно з ПВР під безпосереднім керівництвом осіб, відповідальних за безпечне виконання робіт кранами.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						71
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Б.2. Вимоги безпеки при виконанні монтажних робіт

Монтаж будівельних конструкцій відноситься до робіт з підвищеною небезпекою. Робітники, які виконують монтажні роботи, повинні пройти медичний огляд, спеціальну підготовку, здати іспит і отримати посвідчення на право виконання робіт. Вантажопідйомні машини і такелажні пристосування до початку роботи і в процесі експлуатації повинні проходити технічний огляд у відповідності з вимогами Держтехнагляду. Огляд вантажопідіймальних машин і механізмів проводять щомісяця. Траверси оглядають не рідше одного разу в 6 міс, кльози - через 1 міс, стропи - кожні 10 днів. Зовнішній огляд сталевих канатів слід виробляти щоденно, керуючись нормами вибракування зношених канатів. Такелажні пристосування при огляді випробовують навантаженням, що на 25% перевищує розрахункову вантажопідйомність. Дату випробувань і вантажопідйомність вказують на бирках. Крани слід встановлювати у відповідності з проектом виробництва робіт, при цьому необхідно забезпечити безпечні відстані кранів від ліній електропередачі, укосів котлованів, габаритів будівель і споруд.

Риштування й підмостки повинні мати огороження на рівні робочого місця висотою не менше 1 м. На монтажних роботах використовують типові інвентарні ліси і підмостки. Риштування та підйомні колиски повинні мати паспорта підприємства-виробника.

Монтаж конструкцій виконують відповідно до ПВР. У ньому повинні бути передбачені заходи щодо вимог безпеки. Строповку конструкцій виконують стропами або спеціальними вантажозахоплювальними пристроями за схемами, передбачених технологічною картою, із застосуванням напівавтоматичних пристроїв для розстропування з землі. При вільному монтажі підняті елементи необхідно утримувати від розгойдування розтяжками. Розстропування монтованих елементів здійснюють тільки після надійного їх закріплення. До остаточного закріплення повинна бути забезпечена їх стійкість з допомогою тимчасових зв'язків, расчалок, кондукторів і т. п.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Заборонено одночасно проводити монтажні роботи на одній захватці по вертикалі з іншими роботами в нижніх поверхах при висоті будівлі не менше п'яти поверхів. Поєднувати ці роботи можна тільки у виняткових випадках.

Монтажники повинні перебувати позаду монтуємої конструкції, з протилежного боку її подачі. Складальні операції на висоті здійснюють зі спеціальних помостів або колисок. Монтажники-верхолази повинні мати спеціальний одяг, неслизьке взуття і запобіжні пояси. Для переходу від однієї конструкції до іншої повинні бути передбачені сходи, перехідні містки і трапи.

Майданчик, на якій виконують монтаж, є небезпечною зоною, і перебувати на ній заборонено. Кордон небезпечної зони це коло радіусом рівним вильоту стріли гака крана, плюс 7-10 м від контуру вантажу, що піднімається (на відстань 7 м може відлетіти вантаж при підйомі його на висоту до 20 м і 10 м - при підйомі на висоту до 100 м). Керувати підйомом конструкцій повинен тільки один чоловік - бригадир монтажної бригади або ланковий. Команду "Стоп!" може подати кожен робітник, який помітив небезпеку.

Б.3. Розрахунок заземлення баштового крана

Мета: Запроектувати заземлення баштового крана марки КБ-573.

Захисне заземлення – це умисне з'єднання із землею або з її еквівалентом металевих, не струмоведучих частин, що знаходяться під напругою. Захисне заземлення електроустановок слід виконувати при номінальній напрузі змінного струму 380 В і вище або напрузі постійного струму 440 В і вище. У приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних заземлення обов'язкове при напрузі від 42 до 380 В змінного і від 110 до 440 В постійного струму.

Заземлюючий пристрій складається із заземлювачів і заземлюваних провідників. Заземлювачем називається провідник або сукупність металевих з'єднань провідників, що знаходяться у безпосередньому зіткненні із землею. Для заземлення не можна використати місткості і трубопроводи, зміст вибухо- та пожежонебезпечні рідини і гази.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Спеціальні заземлюючі провідники прокладають по конструкціях будівель відкрито, в легко доступних для огляду місцях. Такі провідники повинні мати відмітне забарвлення: по зеленому фону жовті смуги. До устаткування заземлюючі провідники приєднують зварюванням або болтами, а до заземлювача (під землею) - тільки зварюванням.

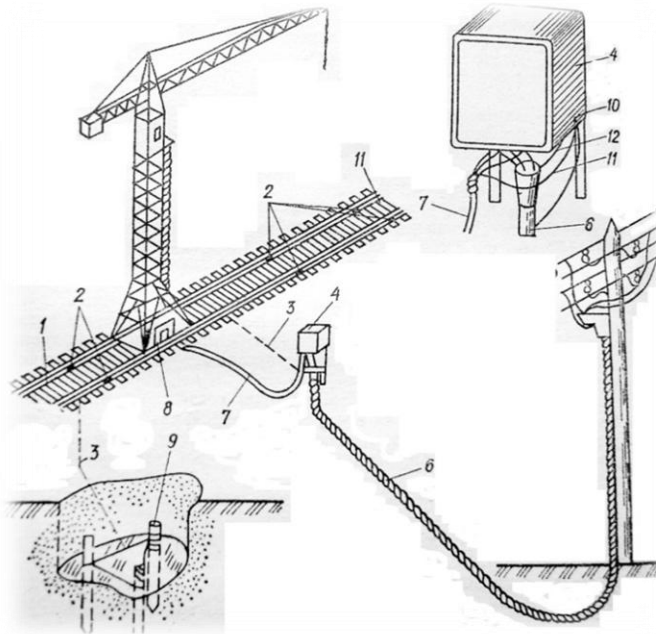


Рис. Б.1 Схема заземлення баштового крана

Влаштування заземлення на будівельному майданчику.

Вихідні дані:

- напруга живлення електродвигуна 380 В;
- питомий опір ґрунту для суглинок – $\rho_{\text{гр}} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;
- вертикальні електроди зі сталених труб діаметром – $d=75 \text{ мм}$ та довжиною $l = 3,6 \text{ м}$;
- горизонтальна з'єднувальна стальна полоса шириною – $b = 60 \text{ мм}$;
- заглиблення полоси зв'язку – $t_0 = 600 \text{ мм}$;
- кліматична зона – II;
- розміщення електродів – по контуру;

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		74

– співвідношення між відстанню між електродами та їх довжиною дорівнює $-\frac{a}{l} = 3$;

– інших заземлень при розрахунку не враховувати;

– допустимий опір заземленого пристрою - $R_d = 4 \text{ Ом}$.

1. Визначаємо перехідне між вертикальними елементами та землею:

$$\rho_B = \rho_{\text{гр}} \cdot k_c^B (k_c^B = 1,6)$$

$$\rho_B = 100 \cdot 1,6 = 160 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$$

2. Визначаємо опір вертикальних електродів:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_B}{l} \cdot \left(\lg \frac{2l}{d} + 0,5 \lg \left(\frac{4 \cdot S + l}{4 \cdot S - l} \right) \right)$$

$$S = t_0 + 0,5l = 0,6 + 0,5 \cdot 3,6 = 2,4 \text{ (м)}$$

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{160}{3,6} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 3,6}{0,075} + 0,5 \lg \left(\frac{4 \cdot 2,4 + 3,6}{4 \cdot 2,4 - 3,6} \right) \right) = 80,54 \text{ (Ом)}$$

3. Визначаємо приблизну кількість електродів, приймаючи $\eta_B = 1$:

$$n_0 = \frac{R_B}{\eta_B \cdot R_d} = \frac{80,54}{1 \cdot 4} = 20,135 \text{ шт}$$

За таблицею значень η_B для $n=20,135$ приймаємо $\eta_B = 0,710$:

$$n_1 = \frac{R_B}{\eta_B \cdot R_d} = \frac{80,54}{0,710 \cdot 4} = 28,359 \text{ шт}$$

За таблицею значень η_B для $n=28,359$ приймаємо $\eta_B = 0,689$:

$$n_2 = \frac{R_B}{\eta_B \cdot R_d} = \frac{80,54}{0,689 \cdot 4} = 29,224 \text{ шт}$$

Виконуємо перевірку $n_2 - n_1 = 29,224 - 28,359 = 0,865 < 1$ – перевірка виконується.

Остаточно приймаємо кількість електродів $n=30$ шт та уточнюємо для них $\eta_B = 0,685$.

4. Визначаємо довжину горизонтальної полоси:

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						75
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

$$\frac{a}{l} = 3 \Rightarrow a = 3l = 3 \cdot 3,6 = 10,8 \text{ (м)}$$

$$L_{\Gamma} = 1,05 \cdot a \cdot n = 1,05 \cdot 10,8 \cdot 30 = 340,2 \text{ (м)}$$

5. Визначаємо опір горизонтальної полоси:

$$R_{\Gamma} = 0,366 \cdot \frac{\rho_{\Gamma}}{L_{\Gamma}} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_{\Gamma}^2}{b \cdot t_0}$$

$\rho_{\Gamma} = \rho_{\text{гр}} \cdot k_{\text{с}}^{\Gamma}$ – перехідний опір між з'єднувальною полосою та землею.

За таблицею приймаємо значення $k_{\text{с}}^{\Gamma} = 3,5$.

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{\text{гр}} \cdot k_{\text{с}}^{\Gamma} = 100 \cdot 3,5 = 350 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$$

$$R_{\Gamma} = 0,366 \cdot \frac{350}{340,2} \cdot \lg \frac{2 \cdot 340,2^2}{0,06 \cdot 0,6} \approx 5,91 \text{ (Ом)}$$

6. Визначаємо сумарний опір контуру заземлення:

$$R_{\text{гр}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\Gamma}}{R_{\text{в}} \cdot \eta_{\Gamma} + n \cdot R_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{в}}}$$

За таблицею приймаємо $\eta_{\Gamma} = 0,802$

$$R_{\text{гр}} = \frac{80,54 \cdot 5,91}{80,54 \cdot 0,802 + 30 \cdot 5,91 \cdot 0,685} \approx 2,56 \text{ (Ом)}$$

Висновок:

В результаті того, що $R_{\text{гр}} = 2,56 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом} = R_{\text{д}}$, приймаємо кількість труб, що розрахували, тобто $n=30$ шт, а довжину з'єднувальної штраби приймаємо рівною $L_{\Gamma} = 340,2 \text{ м}$.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						76
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Додаток В

ІЛЮСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

до кваліфікаційної магістерської роботи на тему:
«ПРОЄКТУВАННЯ ВУЗЛІВ КРІПЛЕННЯ ДРУГОРЯДНИХ
БАЛОК НА БОЛТАХ НОРМАЛЬНОЇ ТОЧНОСТІ»

(21 слайд)

«Допустити до захисту»

Завідувач кафедри БДМБ,
кандидат технічних наук, професор

Владислав НАСТОЯЩИЙ

" ____ " _____ 2024 р.

Виконав: здобувач освіти групи БІ-23Мз
спеціальності 192
«Будівництво та цивільна інженерія»

Ростислав НЄДЕЛКОВ

" ____ " _____ 2024 р.

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи:
кандидат технічних наук, доцент

Микола ПАШИНСЬКИЙ

" ____ " _____ 2024 р.

					КМР 2319218 ПЗ	Аркуш
						77
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		