

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Кафедра будівельної механіки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітньо-наукового ступеня

Магістра
(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження міцності та деформівності вузла обпирання та
металевої колони на фундамент

Виконав: студент 6 курсу, групи МБмн-61
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Сава А.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Ясній В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мещерякова О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Ясній В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Факультет	Факультет інженерії машин, споруд і технологій (повна назва факультету)
Кафедра	Будівельної механіки (повна назва кафедри)

« »

_____ (підпис) Ясній В.П. (прізвище та ініціали)

2025 р.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів) методика розрахунку вузла примикання колони з фундаментом в програмному комплексі Idea StatiCa; схематичні креслення та 3D модель вузла з'єднання колони з бетонним фундаментом; напружено деформований стан вузла; зусилля які діють в анкерному блоці; напруження які діють на бетонній поверхні під дією опорної плити; загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б., к.т.н., доц.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О.М. ст. викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	07.11.2024	
2	Постановка мети та задач досліджень	01.12.2024	
3	Вибір ПК для проведення розрахунків	15.12.2024	
4	Розроблення методика проведення досліджень	14.02.2025	
5	Створення моделі та розрахунок вузла	28.02.2025	
6	Обробка результатів	29.03.2025	
7	Аналіз отриманих результатів	25.04.2025	
8	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.05.2025	
9	Загальні висновки	15.05.2025	

Студент

(підпис)

Сава А.Б.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Ясній В.П.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	10
1.1 З'єднання опорної плити.....	10
1.1.1 Передача навантаження	12
1.1.2 Практика в будівництві.....	13
1.1.3 Режими руйнування	14
1.2 Вбудовані з'єднання колон	16
1.2.1 Передача навантаження	17
1.2.2 Практика і будівництві.....	18
1.3 Анкерні болти в зборі	19
1.3.1 Передача навантаження	20
1.3.2 Практика будівництві.....	21
1.3.3 Допуски.....	22
1.3.4 Корозія	22
1.4 Колонні башмаки.....	23
1.4.1 Передача навантаження	25
1.4.2 Практика в будівництві.....	25
1.4.3 Режими руйнування	27
1.5 Висновки за розділом 1	28
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ НДС ВУЗЛА	29
2.1 Створення розрахункової моделі вузла бази колони в програмному комплексі Idea StatiCa.....	29
2.2 Розрахунок вузлового з'єднання	35
2.3 Висновки за розділом 2	38
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	40
3.1 З'єднання колони з бетонним фундаментом	40
3.2 Режим навантаження.....	41

3.3 Аналіз результатів досліджень	42
3.1 Висновки за розділом 3	45
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	47
4.1 Охорона праці.....	47
4.1.1 Вимоги до будівельно-монтажних площадок.....	48
4.1.2 Вимоги до вихідних матеріалів, будівельних конструкцій.....	50
4.1.3 Вимоги до складування, збереження і транспортування вихідних матеріалів і будівельних конструкцій	51
4.1.4 Вимоги до технологічних процесів	53
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	56
4.2.1 Алгоритм дій при НС	56
4.3 Комплексне забезпечення безпеки на об'єкті	61
4.3.1 Заходи пожежної безпеки	61
4.3.2 Медичне забезпечення та домедична допомога	63
4.3.3 Організація співпраці з ДСНС	64
4.3 Висновки за розділом 4.....	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	67
БІБЛІОГРАФІЯ	68

ВСТУП

Металеві конструкції є невід'ємною частиною сучасного будівництва завдяки своїй міцності, довговічності та універсальності. З'єднання сталевих конструкцій з фундаментом має вирішальне значення, оскільки воно забезпечує передачу навантажень і загальну стійкість конструкцій.

Особливо поширено використовуються такого типу з'єднання у промисловому будівництві, зокрема каркаси виробничих цехів, складські ангари, елеватори та промислові майданчики з крановими балками.

В цьому контексті забезпечення надійності та довговічності будівельних конструкцій відіграє важливу роль. Варто зазначити, що правильне проектування та аналіз такого типу вузлів є критичними для запобігання аварійні ситуацій та забезпечення безпеки експлуатації споруд.

Мета роботи: дослідити особливості конструктивних рішень, розрахунку та забезпечення надійності вузлів обпирання сталевих колон на фундаменти з урахуванням діючих європейських та національних нормативів.

Завдання роботи:

1. Провести аналіз сучасних типів з'єднань сталевих колон із фундаментами, оцінити типові режими руйнування та способи їх запобігання.
2. Вивчити вимоги нормативних документів (EN 1993, EN 1090, EN 1992-4, ДСТУ) щодо проектування таких вузлів.
3. Запропонувати методику дослідження напружено-деформованого стану вузлового з'єднання.
4. Методом скінченних елементів з використання ПК провести розрахунок напружено-деформованого стану вузлового з'єднання

Об'єкт досліджень: вузол обпирання металевої колони на фундамент.

Предмет дослідження: напружено-деформований стан елементів вузла.

Методи дослідження: аналіз нормативної документації; аналіз ПК для розрахунків, метод скінченних елементів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності із науковою тематикою кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя.

Наукова новизна отриманих результатів :

Наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні підходів до аналізу напружено-деформованого стану вузлів обпирання сталевих колон на фундаменти з урахуванням сучасних вимог нормативних документів та особливостей реального навантаження.

Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення роботи полягає в можливості застосування отриманих результатів для оптимізації конструктивних рішень при проектуванні фундаментних вузлів у промисловому та цивільному будівництві, що сприяє підвищенню їх надійності та довговічності.

Апробація. Окремі результати роботи доповідались на Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» присвяченій 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Тернопіль, ТНТУ, 28 – 29 травня 2025 року.

Публікації. Дослідження напружено-деформованого стану вузла обпирання металевої колони на фундамент / В. Ясній, А. Сава // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» присвяченої 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 28 – 29 травня 2025 року — Т.: ТНТУ, 2025.

Ключові слова: напруження, метод скінченних елементів, ПК Idea StatiCa, розрахунок, сталева колона, фундамент.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Проектування та розрахунок вузлів обпирання в Україні здійснюється відповідно до діючих нормативних документів, ДСТУ-Н Б EN 1993-1- 1:2010 [1], який містить вимоги до проектування сталевих конструкцій, включаючи розрахунок міцності та стійкості елементів) та ДСТУ Б EN 1090-3:2022 [2], який встановлює вимоги до виконання сталевих та алюмінієвих конструкцій, включаючи допуски на виготовлення та монтаж вузлів обпирання колон. ДСТУ Б EN 1090-3:2022 є ідентичним з європейським стандартом EN 1090-3:2019, і є перекладеним без змін технічного змісту. Це значить що всі вимоги, посилання та формули повністю збігаються.

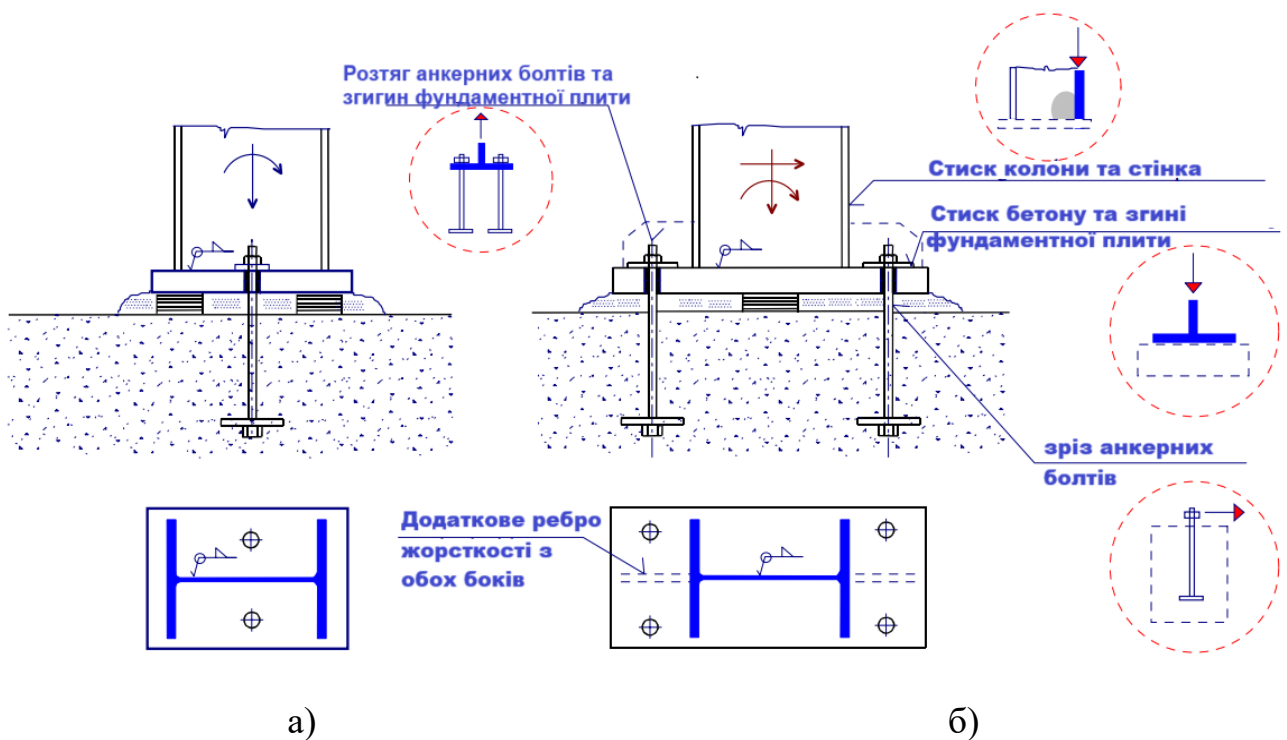
EN 1090-3:2019 — це обов’язковий стандарт для підприємств, що виготовляють алюмінієві конструкції, які використовуються в будівництві на території ЄС (і України, згідно гармонізації). Він встановлює чіткі вимоги до матеріалів, технологій, персоналу та контролю якості, і тісно пов’язаний із Eurocode 9 (EN 1999).

Розрахунки напружено-деформованого стану різних з’єднань та конструкційних елементів виконують у ПК комплексах таких як Ліра [3,4], RF-STEEL від Dlubal RFEM [5,6] та інших.

1.1 З’єднання опорної плити

З’єднання з фундаментною плитою складається зі сталевій пластини, привареної до кінця сталевій колони, закріпленої на бетонному фундаменті болтами (зазвичай 4 або більше). Опорна плита сидить на шарі цементного розчину над бетонною основою для забезпечення повного контакту і вирівнювання. Опорні плити можуть бути нежорсткими (типово для помірних навантажень) або жорсткими з привареними ребрами, якщо необхідно переносити великі моменти. Анкери можуть розташовуватися всередині фланців колон (під профілем) або зовні

фланців, причому в останньому випадку часто допускається використання ребер жорсткості для додаткової жорсткості. Національними та міжнародними стандартами передбачено метод проектування фундаментних плит, розглядаючи бетон на стиск, фундаментну плиту на згин, а анкерні болти на розтяг/зсув як окремі компоненти. З'єднання може бути спроектоване як защемлене (передаючи лише зсув і мінімальний момент) або як стійке до моменту, залежно від розташування анкерів і жорсткості плити. На рис. 1.1 показані типові схеми з'єднання фундаментної плити [7].



а) з болтами всередині опорної плити; б) болти зовні опорної плити (з додатковим ребрами жорсткості).

Рисунок 1.1 – Типова схема монтажу колони та вибір складових компонентів [7]

Ці конфігурації впливають на здатність конструкції чинити опір за згину. Розміщення болтів далі один від одного (зовні фланців) збільшує плече для опору моменту, але необхідно додаткові елементи для збільшення жорсткості плити [7].

1.1.1 Передача навантаження

За дії стиску навантаження на колону передається через опорну плиту на цементний розчин і бетон. При осьовому стискаючому навантаженні фундаментна плита спирається на цементний розчин/бетон, розподіляючи тиск приблизно так само, як бетонний блок, що несе навантаження під плитою. Якщо виникають підйомні або розтягуючі зусилля, їм чинять опір анкерні болти, що знаходяться в натягнутому стані, при цьому фундаментна плита діє як велика шайба, що розподіляє зусилля болтів на бетон. Сили зсуву в основі передаються за рахунок поєднання тертя і опори на анкери або зсувні шпонки. Для незначних зсувів може бути достатньо тертя на зацементованій поверхні (посиленого власною вагою колони). Однак, норми проектування передбачають, що покладатися лише на тертя небезпечно, якщо може виникнути динамічне навантаження або розкриття зазору (що зменшить нормальну силу). Таким чином, зсуву часто додатково протидіють шляхом притискання анкерних болтів до фундаментної плити або встановлення шпонки. Моменти сприймаються парою розтягнення-стиснення: одна сторона фундаментної плити при стисненні проти бетону, а анкерні болти на протилежному боці - в розтягнутому стані. Якщо болти знаходяться всередині фланців (ближче один до одного), плече моменту менше, що призводить до меншої здатності витримувати момент порівняно з болтами фланців зовні. Можна додати ребра жорсткості або збільшити товщину пластини, щоб забезпечити її жорсткість і пружне деформування за згину. Стандарти також допускають еластичну або пластичну конструкцію опорних плит; "метод компонентів" ідеалізує опорну плиту як гнучку Т-подібну пластину при згинанні, а анкери - як стяжні стержні, жорсткість і опір яких можна розрахувати і зібрати, щоб передбачити поведінку з'єднання. Опорні плити часто проектуються як шарнірні (мінімізація передачі моменту) або жорстко защемлені (повна передача моменту), але в реальності вони демонструють напівжорстку поведінку - багато "шарнірних" основ забезпечують певне защемлення [8].

1.1.2 Практика в будівництві

З'єднання фундаментних плит вимагає, щоб поверхня фундаменту була рівною і не мала значних нерівностей. Зазвичай анкерні болти заливаються на місці з використанням шаблонів, щоб утримувати їх у правильному положенні та на необхідній висоті виступу під час заливки бетону. Національні та міжнародні стандарти, по сталевих конструкціях, визначають допуски на розміщення анкерних болтів (наприклад, в межах декількох міліметрів в плані і висоті) і на прямолінійність колон. Невеликі отвори або прорізи в фундаментній плиті дозволяють усунути незначні неспіввісності. Після того, як сталева колона з привареною опорною плитою змонтована (зазвичай піднята на місце), на анкери встановлюються гайки і шайби. Колона вирівнюється за рівнем (за допомогою вирівнювальних гайок під плитою або прокладок під кутами) для дотримання вертикальних допусків (від $1/600$ до $1/1000$ висоти колони, якщо вона стоїть не за рівнем). Після виставлення зазорів між фундаментною плитою і бетоном заповнюється безусадковим розчином. Це забезпечує рівномірний контакт і передає стиснення в основу. Вона також захищає нижню частину плити та анкерні компоненти від проникнення води. Після затвердіння цементу основа фактично стає твердою поверхнею. Анкери в будівництві, як правило, щільно затягуються (не повністю) - гайки накручуються і затягуються до щільного прилягання. Повне попереднє розтягування анкерних стрижнів є рідкісним явищем, за винятком випадків, коли це зумовлено циклічним або сейсмічним навантаженнями, оскільки важко досягти певного попереднього натягу в литих анкерах, а також тому, що сильний попередній натяг може спричинити значні зусилля в бетоні.

Тим не менш, невеликий попередній натяг може бути застосований, щоб забезпечити щільне з'єднання, і тертя може виникати одразу під час зсувних навантажень. Захист від корозії важливий для відкритих опорних плит і анкерів. Стандарти передбачають заходи захисту від корозії: фундаментні плити зазвичай оцинковані або пофарбовані, а анкерні стрижні можуть бути оцинковані або виготовлені з корозійностійкого сплаву, якщо вони знаходяться на відкритому

повітрі. Сам розчин забезпечує певний захист, але будь-які відкриті частини болтів (різьба, що виступає, гайки) повинні бути змащені і закриті ковпачками або покриті покриттям для запобігання іржі. В агресивних середовищах для захисту анкерного вузла можна використовувати структурний цементний розчин або гільзу з герметиком. Перевірка з'єднань фундаментної плити включає перевірку розташування та діаметрів анкерних болтів (зазвичай це робиться до зведення колони), перевірку наявності та правильності затягування всіх гайок, а також того, що розчин заповнив простір без проміжків (часто візуально або шляхом простукування на наявність пустот). Через деякий час під навантаженням можна повторно перевірити затяжку гайок. Стандарти визначають, що опорні плити в повній опорі (наприклад, для важких колон без вирівнювальних гайок) повинні мати дуже мале кутове відхилення (наприклад, $1/1000$ рад) для забезпечення рівномірного контакту - для цього часто потрібна механічна обробка або нанесення шару цементу. Таким чином, ретельна підготовка, вирівнювання та цементування є критично важливими для якісного з'єднання фундаментної плити [9].

1.1.3 Режими руйнування

Добре спроектовані з'єднання фундаментної плити повинні забезпечити можливість деформації в пластичних сталевих елементах (плита або болти), а не в крихкому бетоні. Згідно із стандартами, загальним припущенням проектування є те, що анкерні болти повинні розтягуватися до того, як бетон зруйнується (що досягається правильним закладенням і відстанню між краями). Якщо фундаментна плита занадто тонка або перенапружена, вона може зазнати згину, що перевищує межу текучості, під колоною або навколо місць розташування анкерних болтів (часто видно, як плита злегка піднімається по краях). Це в'язке руйнування, яке враховується в методах проектування. Крихке руйнування може статися, якщо конструкція неякісна або піддається значним навантаженням : анкерні болти можуть вирватися з бетону або спричинити прорив бетонного конуса (шматок бетону конічної форми виривається болтом при розтягзі). Схема руйнування

бетонного конуса для перенавантаженого анкера подана на рис. 1.2. Якщо анкери недостатньо заглиблені чи розташовані на невеликій відстані один від одного, або якщо бетон слабкий, таке руйнування може статися раптово. Анкерні болти також можуть зламатися (особливо якщо вони виготовлені з високоміцної, але низькопластичної сталі, або якщо вони піддаються втомним/динамічним навантаженням). Злам болтів часто починається на різьбі або в точках концентрації напружень. При зсуві анкери можуть або втратити жорсткість (зігнутися), зламатися, бетон навколо них може зазнати руйнування або відбутися виштовхування бетону (коли неглибокий анкер з великою опорною плитою виштовхує клин бетону). У фундаментних плитах без спеціальної зрізної шпонки зсувне навантаження може спричинити ковзання плити до моменту включення опори на анкери; цей вплив може призвести до розтріскування розчину або бетону на краях отворів для болтів. Пошкодження цементного розчину трапляються рідше, якщо використовується якісний безусадковий цементний розчин з обмеженою товщиною, але надмірно товстий або слабкий шар розчину може тріснути або зруйнуватися під дією значних навантажень. Зварні шви між колоною та фундаментною плитою є ще однією потенційною слабкою ланкою - зварні шви можуть руйнуватися через високі значення згинальних моментів або внаслідок циклічних навантажень. Стандарти вимагають проведення належних зварювальних робіт і часто неруйнівного контролю для зварних швів повного проплавлення між колоною і основою в критичних конструкціях. Таким чином, типові режими руйнування включають: в'язке руйнування фундаментної плити або анкерних болтів (переважно); руйнування бетону при розтягуванні (конус або розкол) або стисканні (зминання під кутами плити); зсув або руйнування бетону при зсуві; руйнування зварного шва. Багатьох з них можна уникнути, дотримуючись правил деталізації стандартів чи Єврокоду (відстань між краями, анкерне армування, товщина плити тощо), щоб запобігти руйнуванню пластичної сталі.

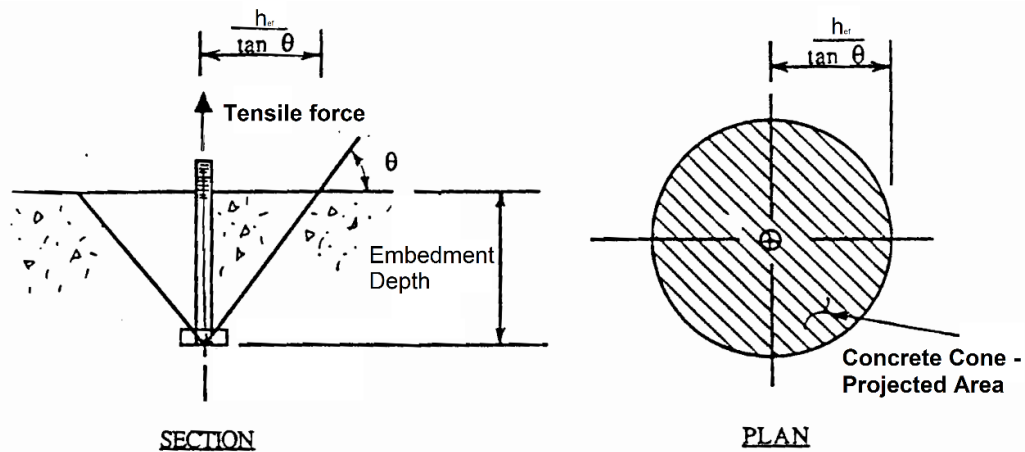


Рисунок 1.2 – Руйнування бетонного конуса анкера при розтязі [10]

Коли сталевий анкер витягують з бетону, може вирватися конусоподібний шматок бетону. Норми проектування допускають, що кут конуса становить приблизно 35° - 45° . Прогнозована площа конуса (заштрихована в плані) використовується для розрахунку міцності на висмикування. Правильна глибина закладення, відстань між краями та армування можуть запобігти цьому крихкому руйнуванню.

1.2 Вбудовані з'єднання колон

Заглиблений фундамент для колон (гніздове з'єднання (socket connection) або фундамент-кишеня (pocket foundation)) досягається шляхом встановлення нижньої частини сталеві колони в бетонний фундаментний блок або гільзу, замість того, щоб обпиратися на зовнішні фундаментні плити і відкриті анкери. На практиці це може включати в себе попередньо підготовлене місце, в яке встановлюється стальна колона, з подальшим заповненням розчином або бетоном, або заливкою фундаменту навколо короткої частини колони, яка виходить нижче верхньої частини фундаменту.

Глибина закладання може бути різною, але часто вона в два рази перевищує глибину перерізу колони (або більше) для забезпечення міцного з'єднання. Колона може мати або не мати опорну плиту. В деяких конструкціях використовують невелику опорну плиту або приварені до колони зрізні вушка в якості анкерів

всередині бетону. У практиці, орієнтованій на Єврокод, повне втоплення основи сталевих колон в бетон ефективно створює композитне з'єднання - вказівки щодо проектування не повністю викладені в EN 1993-1-8, але такі випадки можуть бути розглянуті за допомогою проектування для конкретного проекту або положень національних додатків. Загалом, за аналогією можна застосовувати принципи EN 1992-4 для анкерів та EN 1994 (композитні конструкції). Закладні з'єднання зазвичай використовувалися для високонавантажених колон і до сейсмічних каркасів, оскільки вони можуть протидіяти високим значенням згинальних моментів і демонструвати хороші непружні характеристики, якщо їх деталізувати належним чином.

1.2.1 Передача навантаження

Передача навантаження у вбудованому з'єднанні відбувається, в першу чергу, через пряму опору і зв'язок між металом та бетоном. Бетон, що оточує сталеву секцію, охоплює її, тому осьове стиснення передається за рахунок опори поперечного перерізу колони (кінцівки фланців, полотна або опорної плити) на бетон під краєм колони. Разом з тим, будь-яке розтягуюче зусилля чи підйомна сила чинять опір бетону над і навколо колони - фактично, колона "зачеплена" за фундамент. У повністю заглиблених конструкціях анкерні болти можна не використовувати, покладаючись на здатність бетону протистояти висмикуванню колони. У таких випадках бетон підсилюється додатковою сталлююю арматурою (наприклад, U-подібні стяжки або шпильки, що проходять за фланцями колон), яка виконує роль анкерної арматури, створюючи напруження для протидії висмикуванню колони або для запобігання розколу бетону. Зсувні зусилля передаються через опору на бічні стінки фундаменту - сталеві фланці притискаються до бетону в напрямку навантаження. Це часто називають горизонтальним несучим механізмом або зсувом панелей в бетоні між фланцями [11]. Глибина закладення повинна бути достатньою, щоб компенсувати несучі напруження, не перевищуючи при цьому міцність бетону. Згинальні моменти

протидіють комбінації вертикальних і горизонтальних навантажень: сторона розтягування колони утримується бетоном зверху (запобігаючи підйому), в той час як сторона стиснення спирається на бетон знизу, створюючи пару. По суті, заглиблена основа колони створює фіксацію, спираючись на передню і задню частину бетонного фундаменту (подібно до хомута). Дослідження показали, що такого типу з'єднання можуть досягати міцності, що перевищує пластичну здатність колони, а також демонструють стабільну поведінку в сейсмічних умовах, ефективно переміщуючи пластичний шарнір вгору в колону (а не на рівень землі) [12]. Це дозволяє запобігати пошкодженням на базовому з'єднанні при сейсмічному проектуванні. Однак, у випадку неправильної деталізації, бетон може надмірно стискати основу і призвести до крихкого руйнування бетону або фланців колони.

1.2.2 Практика і будівництві

Заглиблені фундаменти колон вимагають детальної роботи з опалубкою або гільзами для створення місця під фундамент та підготовки основи. Один з методів полягає у використанні гофрованої металевої труби або коробки для утворення пустоти, який видаляється або залишається на місці, і в який буде вставлятися металева колона. Крім того, металеву колону можна встановити на місце і залити навколо неї бетон (це вимагає, щоб металевий каркас була в потрібному положенні під час заливки фундаменту, що може ускладнити монтаж). Частіше використовують двоетапний процес: спочатку заливають фундамент під колону, а потім опускають її і заповнюють кільцевий зазор бетоном. Стандарти містять рекомендації щодо виконання таких комбінованих з'єднань (наприклад, забезпечення правильного розташування колон з дотриманням відстаней між ними і досягнення цементним розчином необхідної міцності). Допуски мають вирішальне значення: фундамент під колону повинен бути достатньо великим (наприклад, 50-75 мм навколо сталеві секції), щоб забезпечити можливість регулювання, але не настільки великою, щоб вимагати надмірної товщини цементного розчину. Поверхні фундаменту повинні бути шорсткими або мати

зсувні з'єднувачі для поліпшення зчеплення. Перед тим, як встановити колону, кишеню очищають, а на дно кладуть шар цементу, щоб колона могла обпертися на нього (це діє подібно до вирівнювальної прокладки для фундаментної плити). Потім колону вирівнюють (за необхідності використовують клини), а отвір, що залишився, заповнюють високоміцним безусадковим розчином або бетоном. Затвердіння має важливе значення, оскільки великі обсяги розчину можуть дати усадку або нагрітися – іноді основу колони укладають в звичайний бетон для кращої сумісності. Захист від корозії заглибленої частини досягається завдяки бетонному покриттю - сталь, що знаходиться нижче рівня ґрунту, закрита і, таким чином, захищена, якщо бетон якісний і товщина покриття відповідає нормам (зазвичай ≥ 50 мм). Щоб запобігти прямому контакту сталі з ґрунтовою вологою, верхня частина отвору герметизується. Неруйнівний контроль (наприклад, UT) може гарантувати, що дно колони не торкається стінок кишень перед заповненням цементним розчином.

1.3 Анкерні болти в зборі

Анкерні болти є критично важливими компонентами, які кріплять металеві опорні плити (або інші з'єднувальні елементи) до бетону. Єврокод EN 1992-4:2022 присвячений проектуванню кріплень у бетоні, охоплюючи як залізобетонні анкери (встановлені до заливки бетону), так і анкери, що встановлюються після заливки (просвердлені і закріплені після затвердіння бетону) [13]. Існують різні типи заставних анкерів: прямі болти (часто з L- або J-подібним гаком для протидії висмикуванню), анкерні стрижні з гайками і анкерними пластинами на заглибленому кінці або деформовані арматурні анкери, відлиті як частина арматури фундаменту [14]. До анкерів, що встановлюються після монтажу, відносяться розпирні болти (розпирні анкери з регульованим крутним моментом або зміщенням), підрізні анкери та хімічні (клейові) анкери, які закріплюють різьбовий стрижень в просвердленому отворі. Згідно з стандартом EN 1992-4, анкери, що встановлюються після монтажу, повинні мати Європейську технічну оцінку (ETA),

що підтверджує їхній характерний опір для використання в критично важливих для безпеки сферах застосування. Анкерні болти в зборі зазвичай складаються з болта/стрижня, шайб і гайок зверху (а іноді і знизу для пластинчастих анкерів), а також будь-яких необхідних втулок або композитних деталей. Конструкція анкера повинна враховувати кілька режимів руйнування (руйнування металу чи бетону, висмикування, розщеплення і т.д.) при розтягуванні і зсуві. Анкери можуть використовуватися індивідуально або в групах (наприклад, 4 анкери на фундаментній плиті, як зазначалося раніше). Литі анкери є найбільш поширеними для фундаментів колон будівель, але анкери, що встановлюються після монтажу, часто використовуються для реконструкцій, для фундаментів обладнання або у випадках, коли литі анкери були встановлені невірно.

1.3.1 Передача навантаження

Анкери передають напругу, розвиваючи зусилля або через механічне зчеплення, або через зв'язок з бетоном. Для литого анкера з головкою напруга передається за рахунок опори головки на бетон (утворюючи конус на малюнку 2). Для гачкового анкера напруга передається за рахунок зачеплення гака з бетоном (хоча гаки менш ефективні і не допускаються деякими нормами через непередбачуване висмикування).

Адгезійні анкери передають навантаження через напруження зчеплення по всій довжині, а розширювальні анкери - через тертя об стінки отвору (створюване розширювальними втулками). При зсуві анкери передають навантаження або безпосередньо на бетон (бічна сторона анкерного стрижня спирається на стінку отвору), або через зсувну муфту/зсувний наконечник, якщо він передбачений. Часто навколо литих анкерів існує зазор (оскільки отвори в опорній плиті зроблені більшими), тому спочатку зсуву протистоїть тертя під опорною плитою. Якщо плита прослизає, анкер зачіпає і тисне на плиту або отвір, створюючи силу зсуву в бетоні або на анкерному стрижні. EN 1992-4 відрізняє розрив бетону на зсув (клин бетону може вийти вперед анкерної групи під дією зсуву) від руйнування сталі на

зсув (коли анкер може вирватися назовні). Анкерні групи (кілька анкерів) можуть мати комбіновані конусні або крайові руйнування - поверхні руйнування, що перекриваються, знижують несучу здатність [15].

Правильна відстань між анкерами та відстань між краями необхідні для того, щоб окремі анкери розвивали свою повну міцність без перекриття конусів. Анкерні болти при комбінованому розтягуванні та зсуві повинні задовольняти формулам взаємодії згідно з EN 1992-4 (аналогічно формулам ACI). Іншим важливим випадком навантаження є циклічне або динамічне навантаження: при повторних навантаженнях (наприклад, сейсмічні або вібраційні механізми) анкери можуть ослабнути або втомитися. Анкери, що встановлюються в бетон з тріщинами, повинні бути кваліфіковані як сейсмічні, якщо вони використовуються в таких умовах (наприклад, згідно з опціями ETA). У сейсмічному проектуванні Єврокоду (EN 1998) часто рекомендується, щоб анкери колон були розраховані на повне пластичне навантаження механізму (щоб гарантувати, що колона не від'єднається, навіть якщо в іншому місці вона піддається деформації). Іноді для динамічних навантажень розглядають анкери з попереднім навантаженням (для тертя)

Наприклад, у фундаментах для важкого обладнання анкери можуть бути попередньо напружені, щоб тертя протидіяло циклічним навантаженням, зменшуючи розмах напружень в анкері. Однак попереднє напруження литих анкерів обмежене практичними методами, і часто підхід полягає в тому, щоб покладатися на зрізні шпонки або проектувати анкери з високими категоріями втомлюваності.

1.3.2 Практика будівництва

Заливні анкери зазвичай встановлюють за допомогою дерев'яного або сталевого шаблону, який відповідає плану анкерних болтів фундаментної плити. Цей шаблон закріплюється в опалубці перед заливкою бетону. Анкерні болти можуть мати головчасті або гачкові кінці, або бути прикріплені до анкерних пластин чи арматурних каркасів, щоб запобігти їхньому переміщенню та

забезпечити опір висмикуванню. Стандарт EN 1090-2 вимагає дотримання допуску положення для литих анкерів (зазвичай від ± 3 мм до ± 5 мм) - ось чому шаблон має вирішальне значення. Під час заливки бетону робітники повинні стежити за тим, щоб анкери не змістилися (необхідно постійно перевіряти і регулювати болти). Після затвердіння шаблон знімають (якщо він дерев'яний) або залишають (якщо жерстяний). Анкери, що виступають, повинні бути захищені (часто обмотані або закриті ковпачком), щоб зберегти різьбу чистою і запобігти згинанню. Заставні анкери встановлюються шляхом свердління в затверділий бетон. Отвір повинен бути просвердлений до потрібного діаметру і глибини (за допомогою перфоратора або алмазної коронки), ретельно очищений (для клейких анкерів очищення від пилу є надзвичайно важливим для адгезії). Потім анкер встановлюється - закручується для розпірних анкерів або приклеюється для хімічних анкерів. Отже, при будівництві необхідно дотримуватися інструкцій з монтажу конкретного виробу (правильний розмір отвору, правильний час затвердіння клею, вказаний момент затягування тощо).

1.3.3 Допуски

Для забезпечення певного зазору в анкерах слід робити отвори більшого діаметру, ніж болти. Стандарт EN 1090-2 дає рекомендації щодо діаметрів отворів (наприклад, отвір на 8-14 мм більший за болт, залежно від розміру болта). Якщо зміщення більше, ніж можна виправити, може знадобитися механічне збільшення (свердління отворів, прорізання пазів) або переміщення (свердління нових анкерів).

1.3.4 Корозія

Анкерні болти часто оцинковують, якщо вони будуть виступати над фундаментом або піддаватися впливу вологи. Анкери з чорної (звичайної) сталі, вмонтовані в бетон, мають певний антикорозійний захист від лужності бетону, але на відкритих ділянках різьби корозія може бути проблемою - тому зазвичай

відкриті ділянки оцинковують або фарбують, або використовують ковпачок/гайку. Анкери з нержавіючої сталі використовуються для висококорозійних середовищ або коли встановлені анкери малого діаметру потребують корозійної стійкості (але мають меншу міцність, ніж високоякісна вуглецева сталь).

Кожен анкер повинен бути перевірений на прямолінійність і правильність заглиблення перед тим, як монтувати сталеву конструкцію зверху. Для вже встановлених анкерів контроль включає в себе перевірку глибини/чистоти отвору і часто проведення пробного навантаження або випробування на крутний момент на зразку анкерів, щоб переконатися, що вони встановлені правильно (відповідно до рекомендацій EN 1992-4 або інструкцій до виробу). Для критично важливих анкерів на об'єкті може бути присутній технічний спеціаліст, який контролює момент затягування або використовує пристрій для перевірки натягу для пробного навантаження анкерів до певного рівня (наприклад, $1,5 \times$ експлуатаційне навантаження) - звичайна практика для анкерних кріплень, пов'язаних з технікою безпеки. Необхідна належна документація, оскільки ці анкери пов'язують сталеву раму з фундаментом - будь-який недолік може призвести до пошкодження конструкції.

1.4 Колонні башмаки

З'єднання колонних башмаків відносяться до запатентованих або вбудованих сталевих компонентів, які забезпечують болтове з'єднання між збірною колоною (або сталевую колоною) і фундаментом. У збірному залізобетонному будівництві башмаки колон (наприклад, Reikko HPKM® або подібні системи) заливаються в нижню частину бетонної колони - вони складаються зі сталевго корпусу (часто U- або L-подібного жорсткого башмака з отворами для болтів) і виступаючої арматури, яка з'єднується з колоною. Під час монтажу башмаки надягають на литі анкерні болти у фундаменті і закріплюються гайками, утворюючи миттєве, стійке до розтягування з'єднання [16]. На рис. 1.3 представлено болтове з'єднання колони HPKM.

Ця концепція може бути застосована і до металевих колон, до неї приварюють жорстку гільзу з отворами або прорізами для анкерних болтів. Це створює болтове з'єднання в основі, а не зварену пластину. З'єднання підвищеної жорсткості може виглядати як чотири пластини, приварені навколо кінця колони, що утворюють порожнисту коробчасту секцію, яка кріпиться болтами до основи. Такі системи корисні там, де слід уникати зварювання на місці або де потрібна швидка стабільність конструкції (болтова основа може витримувати згинальні навантаження, не чекаючи затвердіння розчину).

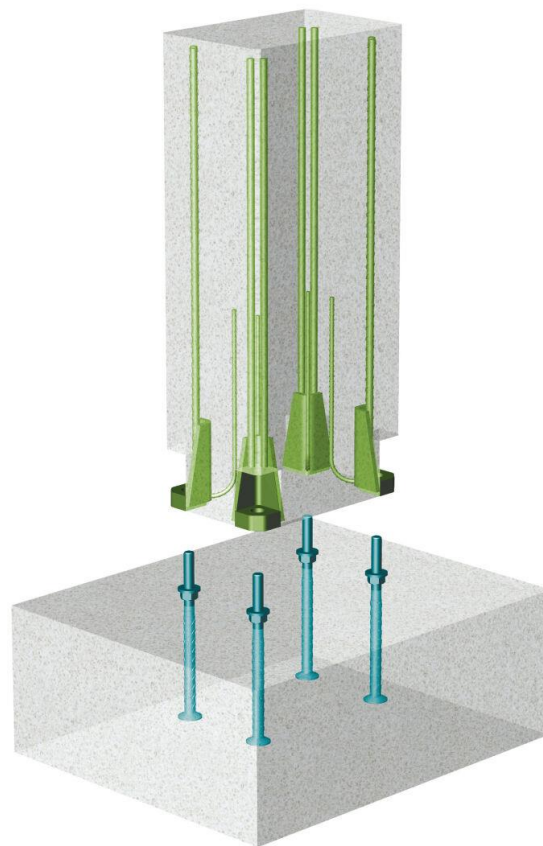


Рисунок 1.3 – Болтове з'єднання колони НРКМ® [16]

Стандарт EN 1090-2 регламентує також вимоги до виконання цих з'єднань - забезпечення належного зварювання компонентів башмака та правильного розташування анкерів. Багато систем башмаків колон в Європі мають схвалення ETA (European Technical Assessment), а проектування виконується відповідно до

специфікацій виробника згідно із рекомендаціями Eurocode (розглядаючи їх як опорні плити з визначеним опором компонентів).

1.4.1 Передача навантаження

Передача навантаження в з'єднанні башмака колони дуже схожа на передачу навантаження на фундаментну плиту з декількома анкерами. Металевий башмак (або жорстка основа) має компоненти опорної плити і бічні стінки, які з'єднуються з анкерними болтами. При осьовому стисненні нижня плита башмака (або нижня сторона бетонної колони, якщо вона несе навантаження безпосередньо) буде тиснути на цементний розчин і бетон, розподіляючи навантаження. Анкерні болти сприймають розтяг, подібно до звичайної фундаментної плити, а сталевий корпус башмака забезпечує передачу зусилля колони на ці анкери. Часто колонні башмаки мають щонайменше чотири анкери, що утворюють прямокутник навколо колони, створюючи пару розтяг-стиск [16].

Бічні пластини або фланці башмака забезпечують додаткову жорсткість на згин. Зсувне зусилля, як правило, передається за рахунок тертя анкерного болта, так само як і в опорній плиті. Оскільки в башмаках колон часто використовуються високоміцні болти, які можна затягнути, іноді їх попередньо навантажують,. Однак повне попереднє навантаження може бути обмежене міцністю бетону, тому зазвичай конструкція допускає ковзання до того моменту, коли болти піддаються зсуву. Таким чином, з'єднання колони з башмаком під навантаженням поводить себе аналогічно з'єднанню з відкритою фундаментною плитою, але з більш складною сталевую арматурою, яка анкерується як в колону, так і в фундамент.

1.4.2 Практика в будівництві

Для збірних залізобетонних колон з башмаками, вони відливаються в колону на заводі, забезпечуючи точне вирівнювання отворів для болтів. Фундамент готується за допомогою відповідних груп анкерних болтів (часто надаються як

частина системи, наприклад, анкерні болти НРМ® для башмаків НРКМ) [16]. Під час монтажу збірна колона встановлюється так, щоб башмак обпирався на болти, що виступають. Гайки встановлюються і затягуються, щоб утримувати колону в горизонтальному положенні. Оскільки башмак забезпечує жорсткість, колона часто може стояти з одним лише болтовим з'єднанням без додаткового кріплення (на відміну від збірної колони з простою опорною плитою, якій потрібні тимчасові підпори, поки вона не буде забетонована). Після встановлення колони зазор між нижньою частиною колони і фундаментом (і навколо башмака, якщо є заглиблення) заповнюється цементним розчином. Після застигання цементного розчину з'єднання набирає свою повну моментну міцність, як монолітна основа. Для сталевих колон з фундаментною коробкою на болтах використовується аналогічний підхід: сталевий фундаментний "башмак" приварюється до колони в цеху, а на місці опускається на анкерні болти і затягується гайками. Високоміцні болти можуть бути щільно затягнуті або частково натягнуті. Зварювання на місці виключається або зводиться до мінімуму (можливо, лише незначні зварні шви, такі як ущільнення башмака до плити, якщо це необхідно). Допуски регулюються за допомогою злегка збільшених отворів або прорізів у башмаку, а іноді цементного розчину або прокладок під башмаком, якщо бетонна поверхня не ідеально рівна. Стандарт EN 1090-2 має класи виконання, які охоплюють якість зварювання таких башмаків (як правило, в тому ж класі, що і зварювання колон). За необхідності на компоненти башмака наносять захисне покриття (часто оцинковку, оскільки вони можуть бути частково литими або знаходитися близько до землі). Перевірка включає в себе перевірку наявності та правильності затягування всіх болтів. Важливо також переконатися, що після монтажу під колону було нанесено цементний розчин - якщо залишити з'єднання башмака колони незаповненим цементом під час експлуатації, це може призвести до того, що навантаження буде зосереджене лише в місцях розташування болтів. Тому інспектори перевіряють, чи виконано цементування і чи досягнуто повного контакту. Якщо башмак заглиблений у кишеню, необхідно переконатися, що кишеня чиста і повністю зацементована.

1.4.3 Режими руйнування

З'єднання башмаків колон мають схожі режими руйнування зі з'єднаннями фундаментної плити та анкерними болтами. Потенційні режими руйнування включають: руйнування анкерних болтів (розтягнення або зсув, або прорив анкерного бетону) - вони повинні бути спроектовані відповідно до EN 1992-4, так само як і стандартні анкери. Сам сталевий башмак може втратити несучу здатність через розтяг або прогин: наприклад, бічні пластини башмака, які передають навантаження на анкери, можуть прогинатися, або зварні шви, що з'єднують башмак з колоною, можуть руйнуватися при перевантаженні. Багато конструкцій такого типу включають значні коефіцієнти запасу міцності і використовують пластичну сталь, так що в разі перевантаження руйнування відбудеться поступово, а не раптово. У збірній залізобетонній колоні іншою потенційною проблемою є недостатнє анкерування башмака, внаслідок чого він може вирватися з бетонної колони (руйнування всередині збірного елемента). Тому проектувальники забезпечують достатню довжину розробки або використовують шпильки з головкою на арматурі башмака. Якщо з'єднання колони з башмаком не зацементоване і тримається лише на болтах, воно може зазнати надмірного ковзання або деформації під високим навантаженням, оскільки самі по собі болти не можуть запобігти невеликому обертанню. Саме тому рекомендується зацементувати всю нижню частину башмака. Корозія може бути ще однією довготривалою проблемою. Простір між башмаком і фундаментом заповнюється цементом, для того щоб будь-яке відкрите було захищеним. Під час динамічних/сейсмічних навантажень болтові з'єднання башмаків можуть дещо прослизати (до повного схоплювання цементного розчину). Як правило, руйнування відбувається через ослаблення анкерних болтів або колони, а не через руйнування башмака. Одним з видів руйнування, характерних для таких систем, є пробивання башмака через фундамент, якщо площа підшви башмака невелика, а бетон слабкий - але зазвичай розмір опорної плити башмака розрахований таким

чином, щоб розподіляти стиснення подібно до звичайної опорної плити. Таким чином, при правильному проектуванні та встановленні системи башмаків колон мають надійні характеристики міцності та стійкості.

1.5 Висновки за розділом 1

Проектування та розрахунок вузлів обпирання сталевих колон є важливим етапом у забезпеченні надійності та довговічності будівельних конструкцій. В Україні ці процеси регламентуються гармонізованими європейськими стандартами, зокрема ДСТУ Б EN 1993 та ДСТУ Б EN 1090, що дозволяє забезпечити відповідність сучасним вимогам безпеки. Одним із ключових способів реалізації вузлів обпирання є з'єднання через опорну плиту, яке широко застосовується у промисловому та цивільному будівництві завдяки своїй ефективності та гнучкості в конструктивних рішеннях. Сучасні ПК, такі як IDEA StatiCa, дають змогу моделювати та аналізувати поведінку вузлів з урахуванням нелінійностей, пластичності матеріалів та складних навантажувальних умов, що створює надійне підґрунтя для ефективного та безпечного проектування сталевих конструкцій. Ретельне врахування режимів руйнування – як пластичних, так і крихких – є необхідним для забезпечення структурної цілісності. Крім того, практика монтажу, якість виконання та захист від корозії відіграють вирішальну роль у довготривалій роботі з'єднань.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ НДС ВУЗЛА

Програма IDEA StatiCa призначена для проєктування, аналізу та перевірки сталевих і бетонних конструкцій, з особливим акцентом на складні вузлові з'єднання. Вона широко використовується інженерами-конструкторами для забезпечення безпеки та ефективності конструкцій відповідно до міжнародних стандартів, таких як Eurocode, AISC та інші.

IDEA StatiCa дозволяє точно моделювати складні з'єднання завдяки унікальному методу CBFEM (Component-Based Finite Element Method). Це інноваційний метод аналізу конструкцій, який поєднує метод скінченних елементів (MCE) з традиційним компонентним підходом. CBFEM розбиває складне з'єднання на окремі компоненти (пластини, болти, зварні шви тощо), кожен з яких аналізується як окремий елемент за допомогою MCE. Завдяки цьому забезпечується можливість: точно розраховувати навантаження, напруження і деформації в з'єднанні; враховувати контакт, зминання, пластичність матеріалів; оцінювати міцність, жорсткість і стійкість вузлів відповідно до реальних умов; проєктувати з'єднання будь-якої складності. Програма інтегрується з BIM/CAD-середовищами, автоматично генерує інженерні звіти та підтримує широкий спектр міжнародних будівельних стандартів. Зважаючи на ці переваги даний програмний комплекс був обраний для подальших розрахунків.

2.1 Створення розрахункової моделі вузла бази колони в програмному комплексі Idea StatiCa

Після запуску програми Idea StatiCa з'являється можливість відкривання вікна в якому потрібно вибрати тип конструкції для розрахунків (Рис. 2.1).

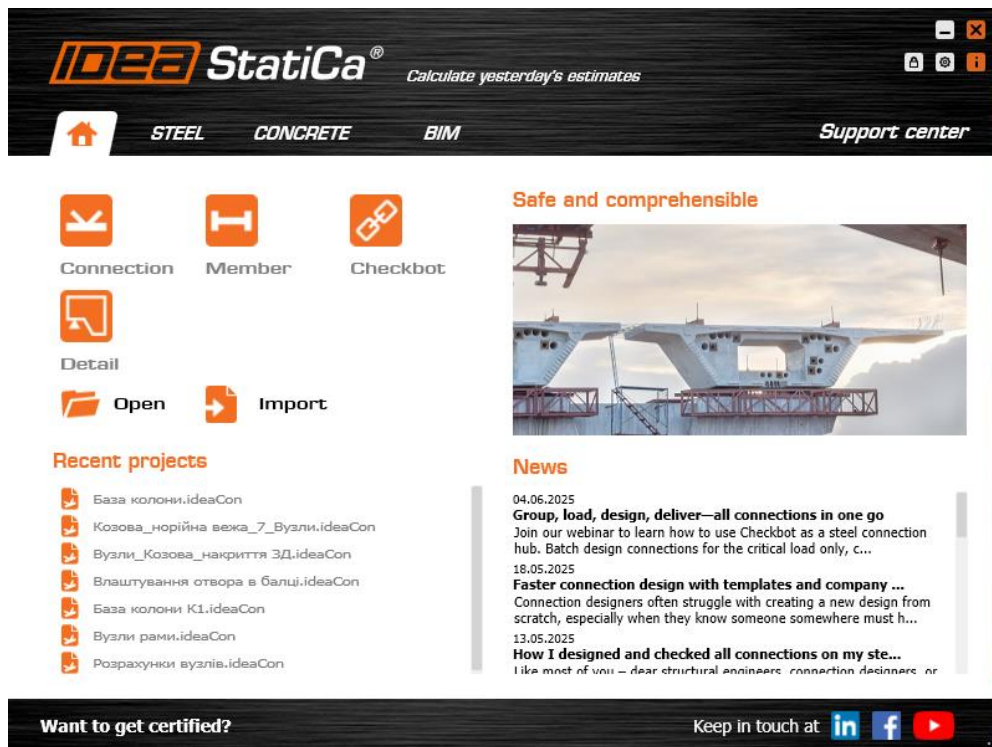


Рисунок 2.1 – Головне вікно програми Idea StatiCa

Після цього переходимо на вкладку «STEEL» (Рис. 2.2), який є одним з основних модулів програми IDEA StatiCa, призначений для аналізу, проєктування та перевірки сталевих з'єднань різної складності.



Рисунок 2.2 – Модуль «STEEL» в програмі Idea StatiCa

На даному етапі, в модулі «STEEL» програми Idea StatiCa необхідно вибрати поле «Connection» для розрахунку вузла. Це дає змогу вибрати шаблон для подальшого розрахунку вузлових з'єднань.

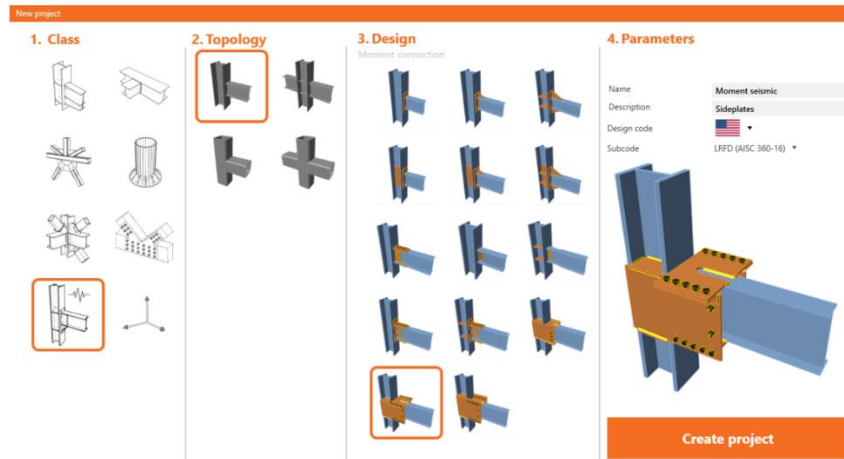


Рисунок 2.3 – Створення нового вузла

Після цього з'являється можливість вибрати необхідний шаблон вузла, як показано на рис. 2.3. Створюємо новий проект вузла задавши відповідне навантаження та натиснувши кнопку «Створити проект».

Одержуємо модель створеного вузла (Рис. 2.4) тип профіля і геометричну схему якого можна скорегувати за допомогою бокового меню (Рис. 2.5)

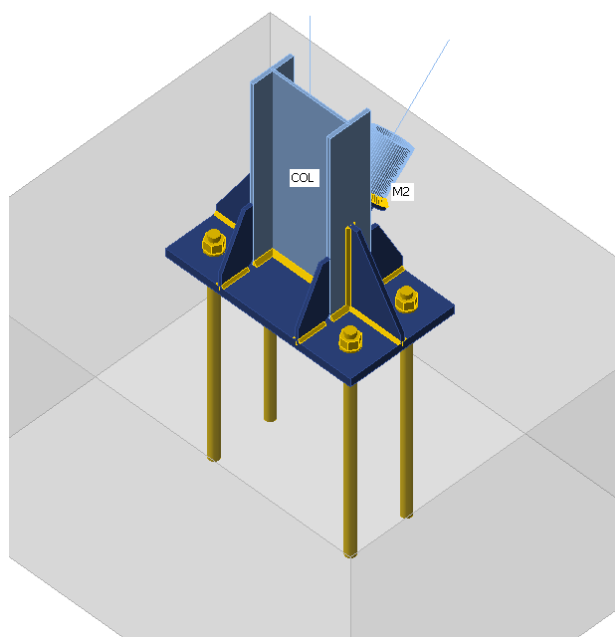


Рисунок 2.4 – Створена модель вузла для подальших розрахунків

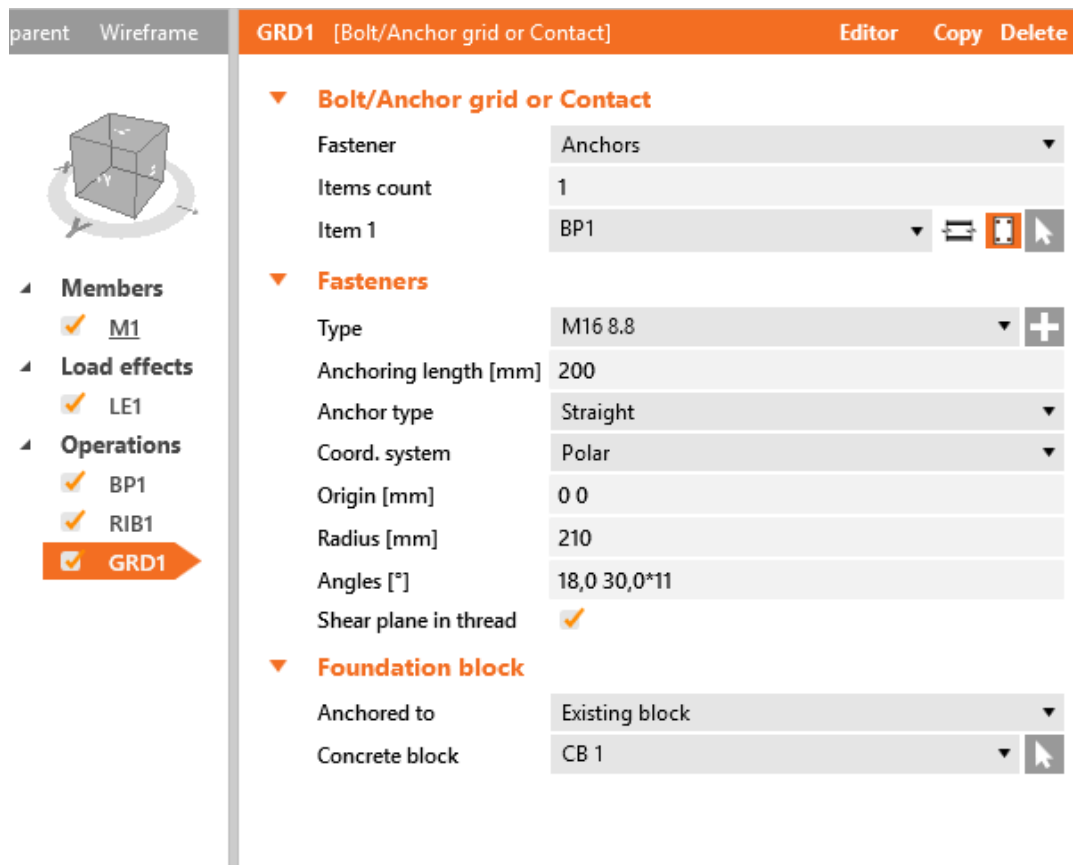


Рисунок 2.5 – Корегування типу профіля і геометричної схеми за допомогою бокового меню

З бази даних профілів вибираємо необхідний нам профіль колони.

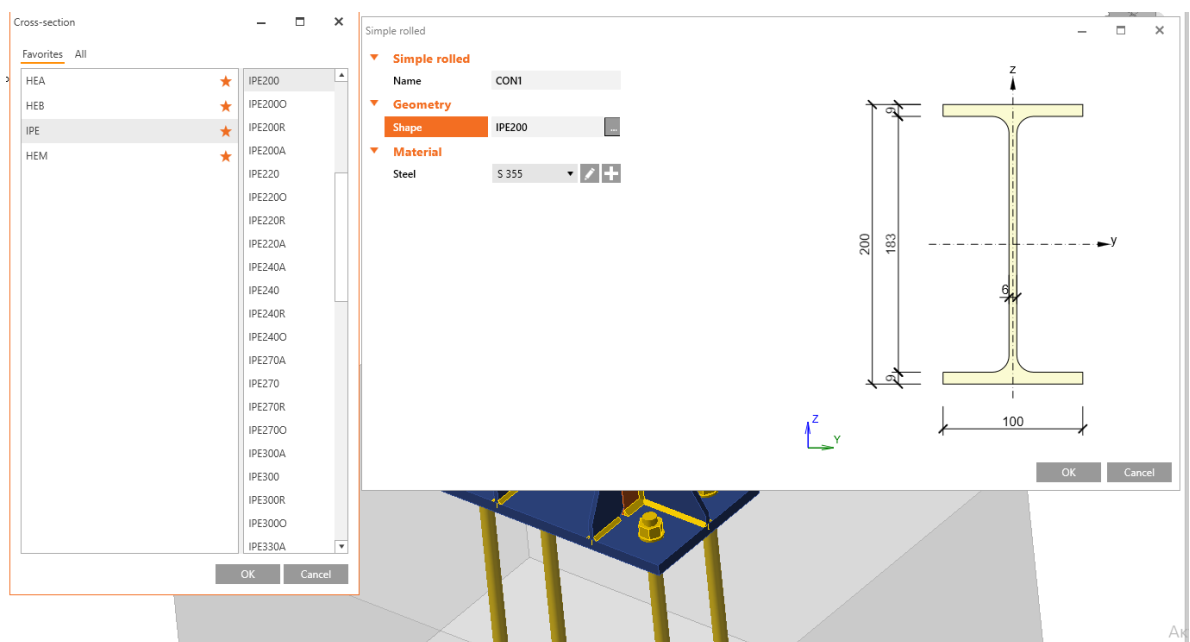


Рисунок 2.6 – База даних профілів

Величину опорної пластини та інші її параметри, а також властивості анкерної групи задаємо в боковому меню властивостей (Рис. 2.7).

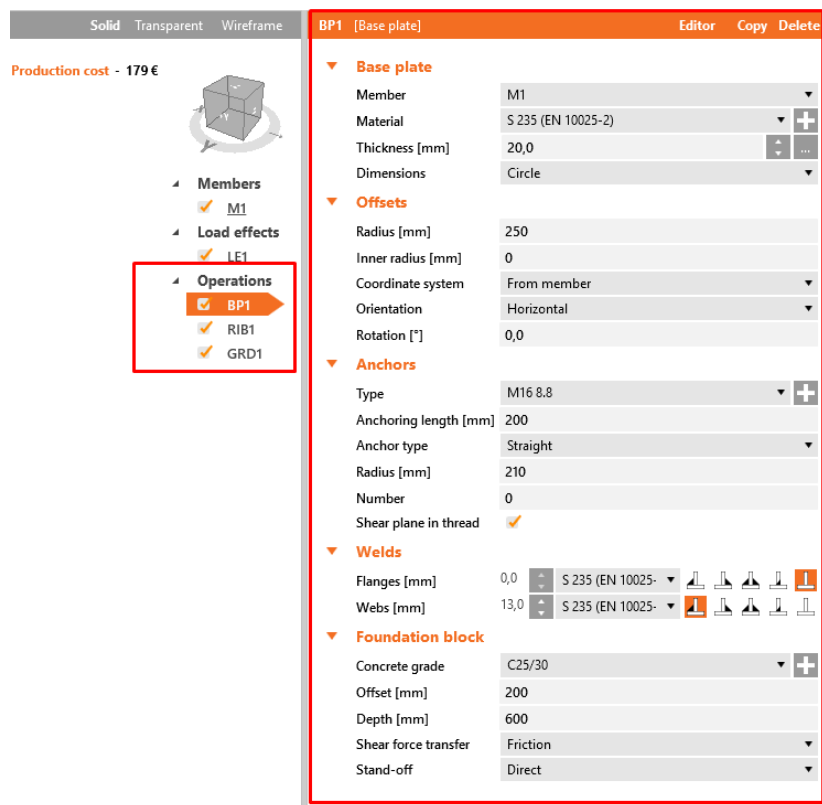


Рисунок 2.7 – Параметри та властивості опорної пластини та анкерної групи

На цьому етапі є можливість змінити величину анкерів на М24 (Рис. 2.8).

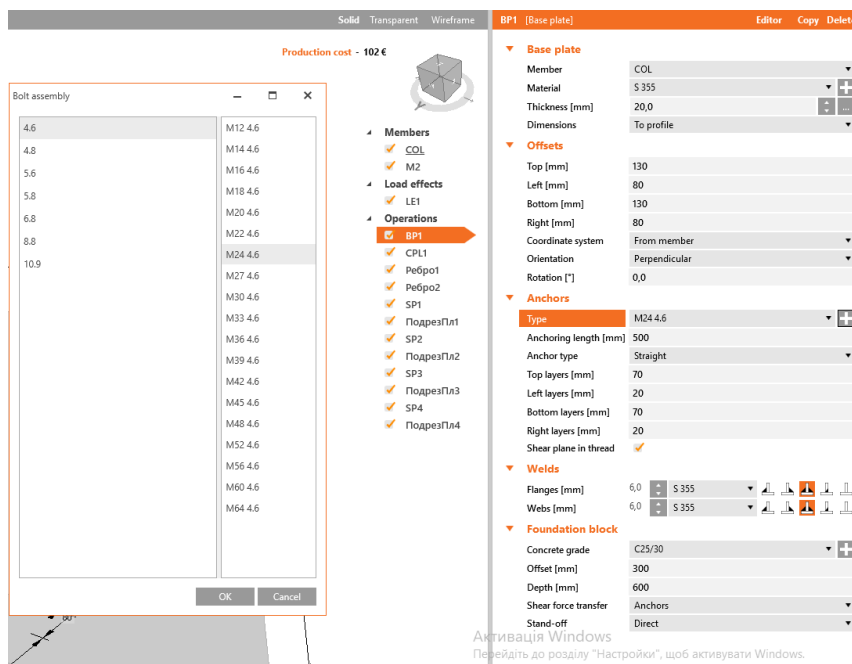
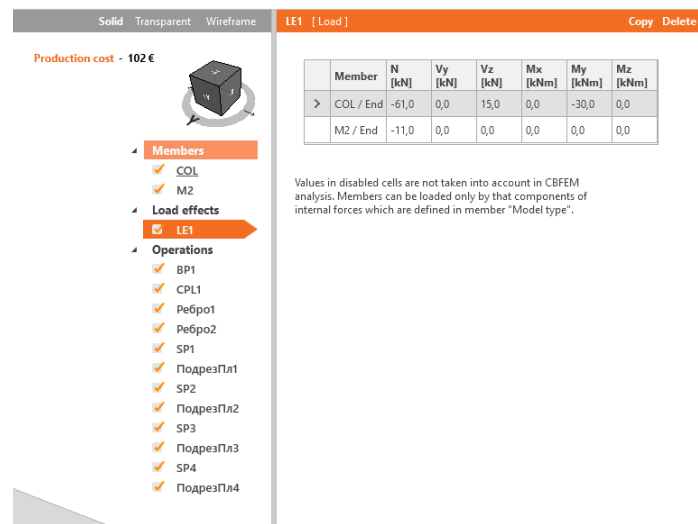


Рисунок 2.8 – Зміна властивостей та геометричних розмірів анкерів

В даному ПК передбачена можливість коригування навантаження, яке діє на вузол обпирання колони на бетонний фундамент.

Оскільки в даному типі розрахунку база колони містить два лінійних елементи (колонна та зв'язок), відображається відповідно тільки два рядки всіх типів зусиль. Корегуємо значення прижимного зусилля на фундамент, зсувне зусилля V_z та згинальний момент M_y на величину як показано на рис. 2.9.



Production cost - 102 €

Members

- COL
- M2

Load effects

- LE1

Operations

- BP1
- CPL1
- Ребро1
- Ребро2
- SP1
- ПодрезПл1
- SP2
- ПодрезПл2
- SP3
- ПодрезПл3
- SP4
- ПодрезПл4

Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
COL / End	-61,0	0,0	15,0	0,0	-30,0	0,0
M2 / End	-11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Values in disabled cells are not taken into account in CBFEM analysis. Members can be loaded only by that components of internal forces which are defined in member "Model type".

Рисунок 2.9 – Корегування значень зусиль та моментів

Інші зусилля приймаємо рівними нулю. Після чого ми можемо побачити візуальне відображення прикладених навантажень (Рис. 2.10).

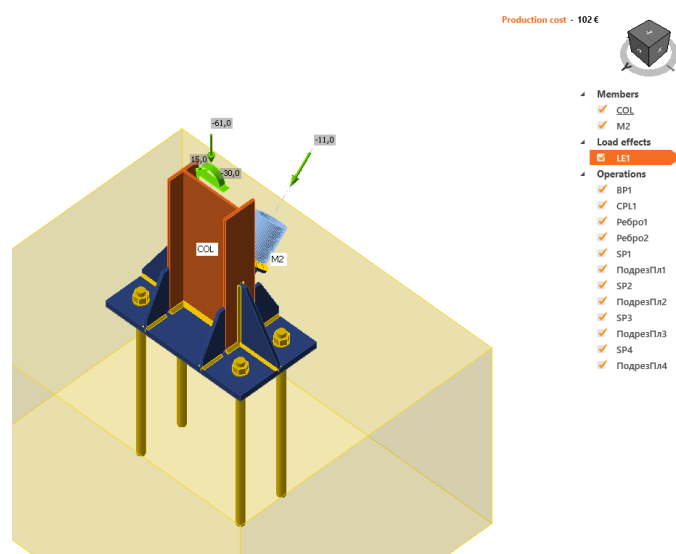


Рисунок 2.10 – Візуальне відображення прикладених навантажень

2.2 Розрахунок вузлового з'єднання

Після задання геометричних та механічних характеристик вузла бази колони з'являється можливість здійснити розрахунок натиснувши клавішу «Calculate» (Рис.2.11).

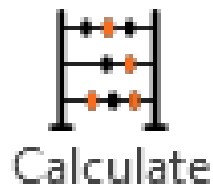


Рисунок 2.11 – Клавіша «Calculate» для початку розрахунку в ПК Idea StatiCa

Після цього в програмі розпочинається розрахунок конструкції (Рис. 2.12).

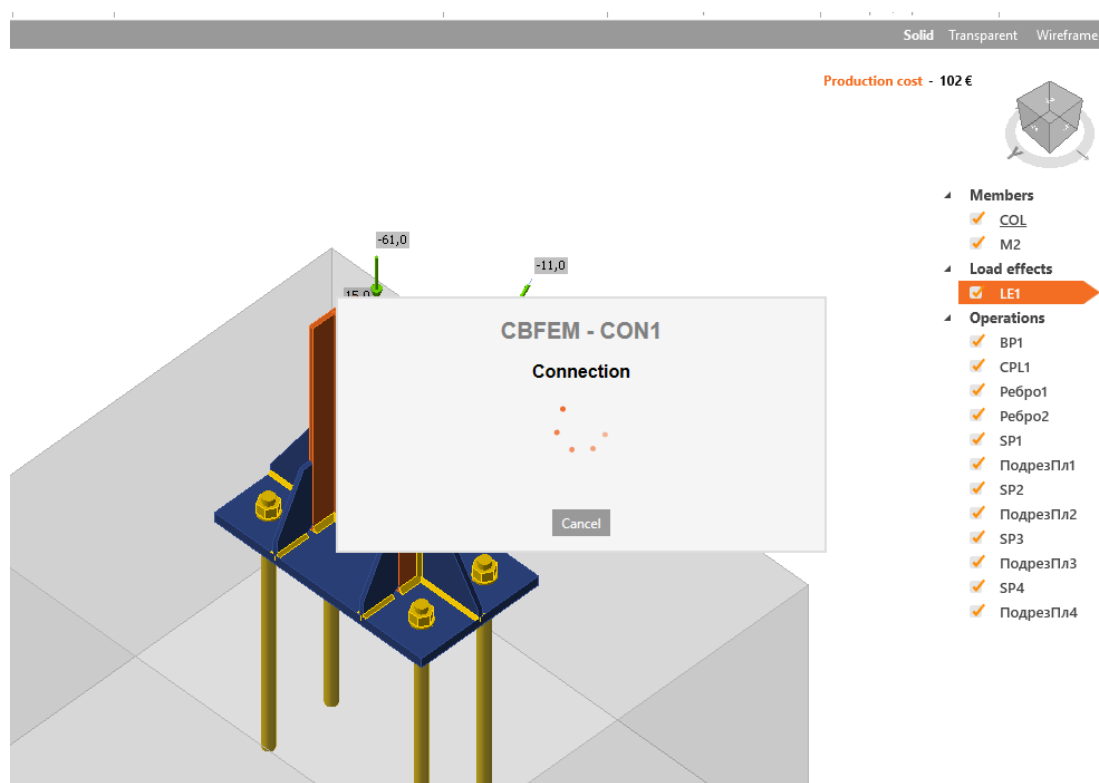


Рисунок 2.12 – Процес розрахунку вузлового з'єднання в ПК Idea StatiCa

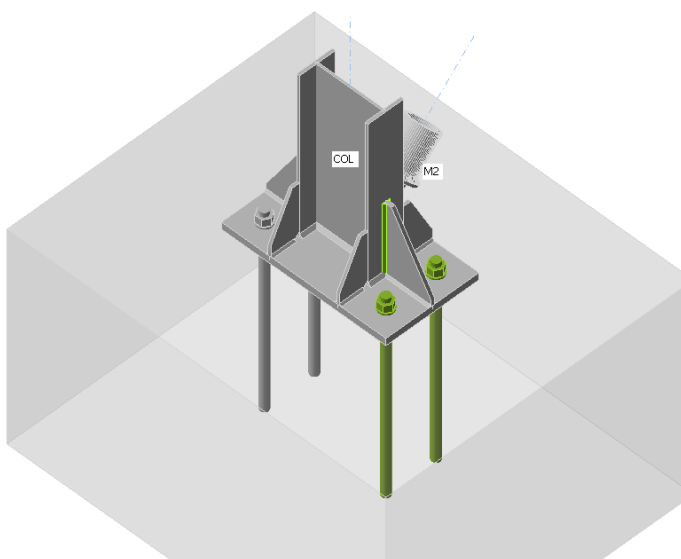
Після вдало проведеного розрахунку одержані результати розрахунку відображаються в лівому верхньому куті робочого поля. Дане поле відображає відсоток використання певного типу елемента (Рис. 2.13).

Analysis	✓	100,0%
Plates	✓	0,0 < 5,0%
Bolts	✓	10,1 < 100%
Anchors	✓	70,3 < 100%
Welds	✓	83,1 < 100%
Concrete block	✓	13,3 < 100%
Buckling		Not calculated

Production cost - 102 €



- Members
 - ✓ COL
 - ✓ M2
- Load effects
 - ✓ LE1
- Operations
 - ✓ BP1
 - ✓ CPL1
 - ✓ Ребро1
 - ✓ Ребро2
 - ✓ SP1
 - ✓ ПодрезПл1
 - ✓ SP2
 - ✓ ПодрезПл2
 - ✓ SP3
 - ✓ ПодрезПл3
 - ✓ SP4
 - ✓ ПодрезПл4



AI
Пл

Рисунок 2.13 – Процес розрахунку вузлового з'єднання в ПК Idea StatiCa

Для більш детального аналізу результатів необхідно перейти на вкладку «Check» (Рис. 2.14).

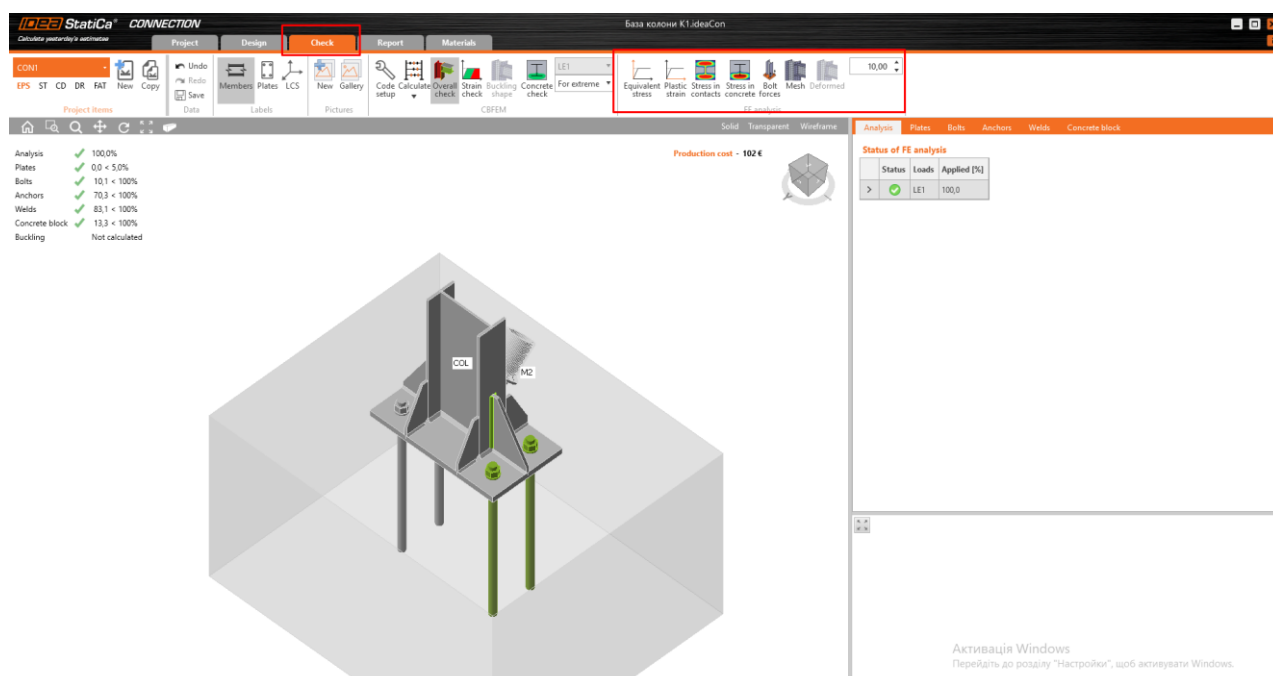
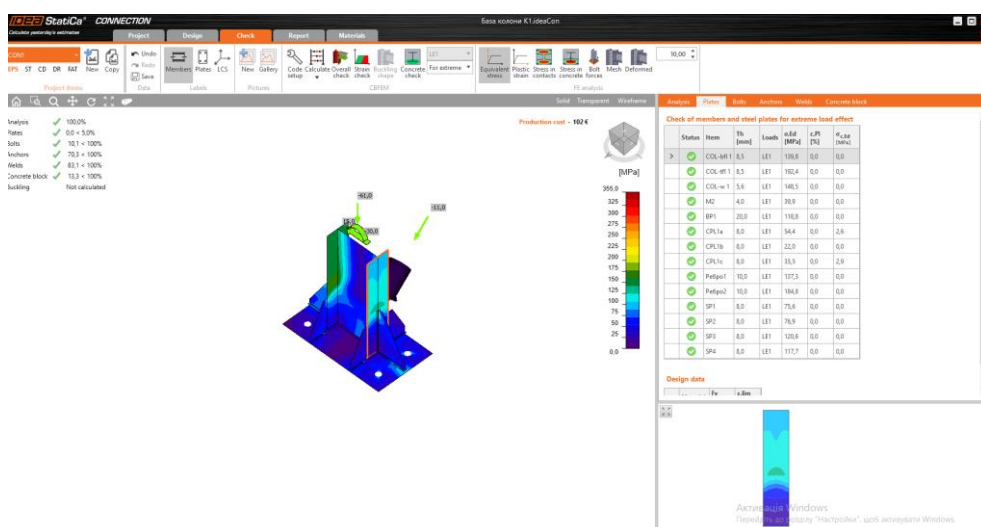


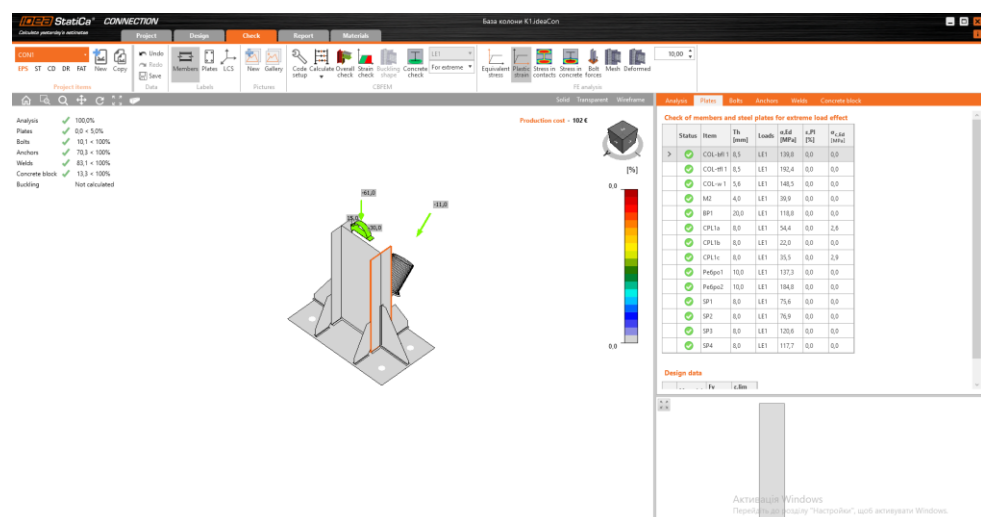
Рисунок 2.14 – Вкладка «Check» для більш детального аналізу результатів

На вкладці «FE analysis» можна одержати різні результати розрахунку, а саме

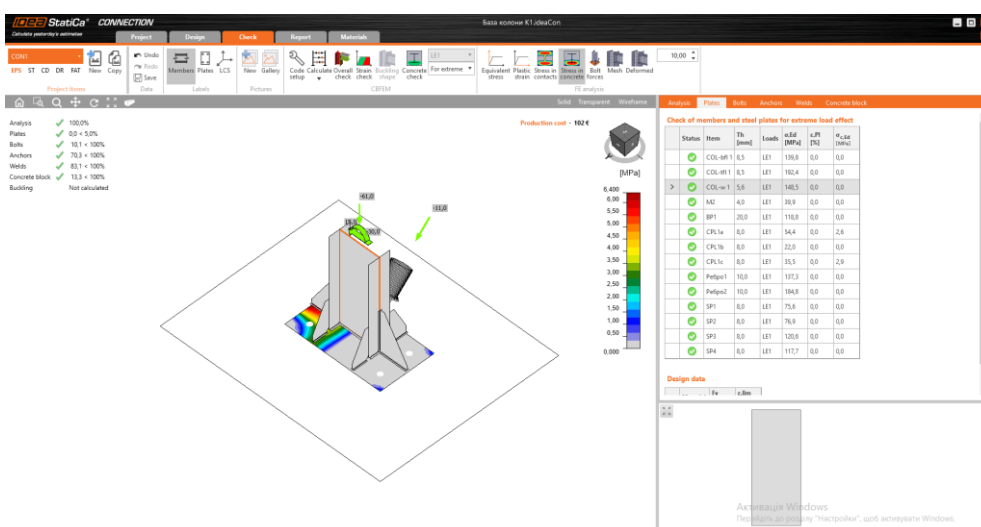
еквівалентні напруження, пластичні деформації, напруження в бетоні, напруження в болтах (рис. 2.15).



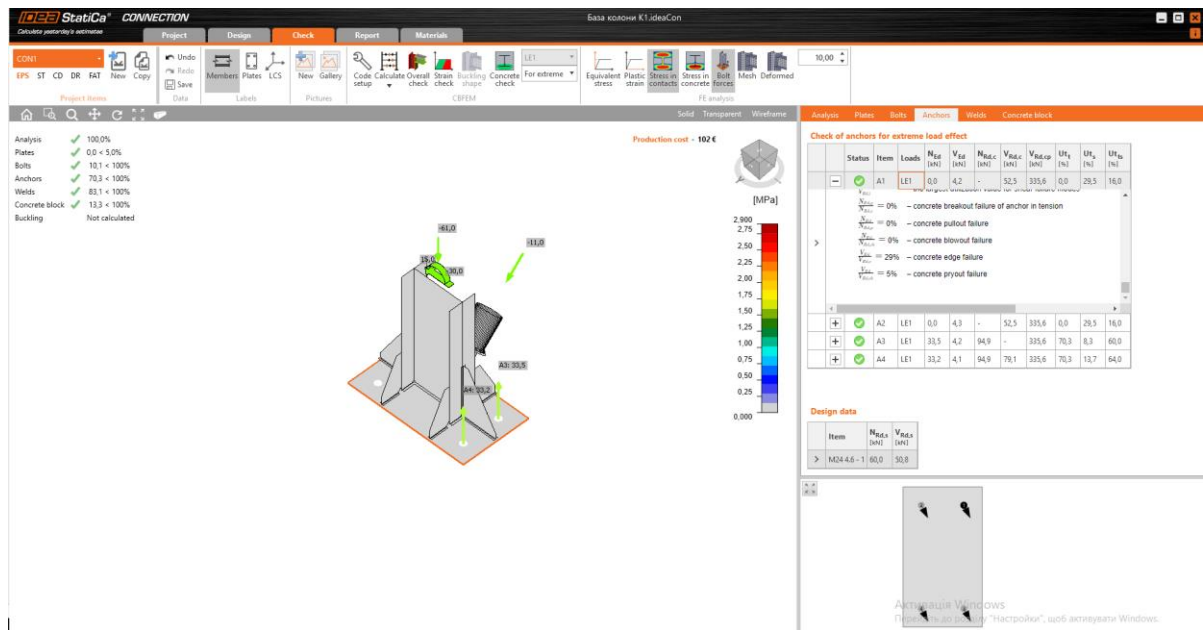
a)



6)



B)



г)

а) еквівалентних напружень; б) пластичних деформацій; в) напружень в бетоні; г) напружень в болтах.

Рисунок 2.15 – Вкладка «FE analysis» з відображеними результатами

Таким чином, запропоновано методику розрахунку вузлових з'єднань для проектування, аналізу та перевірки їх міцності та жорсткості відповідно до нормативних документів.

2.3 Висновки за розділом 2

Програмний комплекс IDEA StatiCa довів свою ефективність у моделюванні та розрахунку складних сталевих вузлів, зокрема з'єднання колони з фундаментом. Завдяки застосуванню методу CBFEM є можливість точно змоделювати роботу всіх окремих елементів вузла, враховуючи пластичність матеріалів, контактні взаємодії та можливі концентрації напружень.

У результаті роботи з модулем STEEL → Connection було створено повноцінну розрахункову модель з'єднання, яка включає двотаврову колону, вертикальний зв'язок, опорну плиту, ребра жорсткості, анкерну групу, а також бетонну основу. Програма дозволяє гнучко змінювати геометричні параметри елементів і накладати навантаження згідно з умовами реального проєкту.

Програма передбачає можливість представити детальний звіт, у якому автоматично відображаються коефіцієнти використання матеріалів, граничні стани, зусилля та результати перевірок відповідно до норм Eurocode (EN 1993-1-8, EN 1992-4).

Загалом, застосування IDEA StatiCa як інструменту для проєктування сталевих з'єднань значно підвищує точність інженерних рішень, скорочує час на розрахунки та підвищує безпеку проєктованих конструкцій.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 З'єднання колони з бетонним фундаментом

Конструктивна схема вузла примикання колони з фундаментом представлена на рис. 3.1.

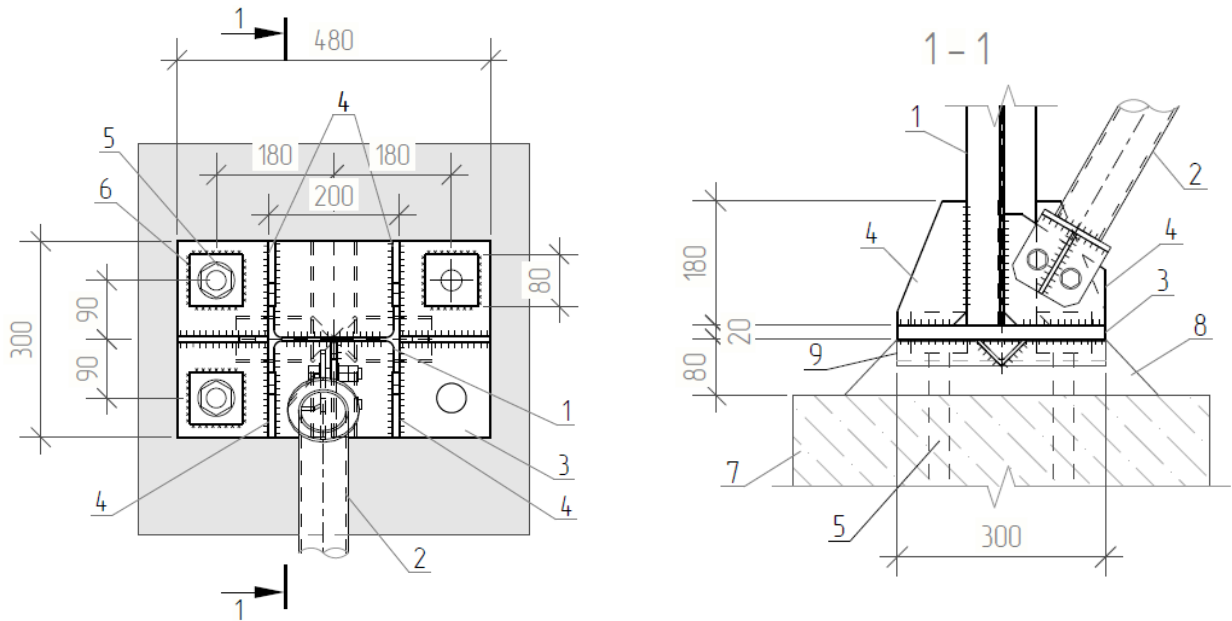


Рисунок 3.1 – Конструктивна схема вузла бази колони

Вузол з'єднання колони з бетонним фундаментом представляє собою безпосередньо (1) металеву колону з двотавра ІРЕ200, виконану зі конструкційної вуглецевої сталі S275JR мінімальна межа плинності якої становить 275 МПа. До колони приєднується вертикальний зв'язок (2) (труба 76x4 зі сталі Вст3пс) за допомогою болтового з'єднання (болти 2xM16 класу міцності 8.8). Опорна плита (3) виконана з листа товщиною 20 мм. До опорної плити приварена колона та відповідні ребра жорсткості (4). Також вона має отвори для закріплення колони до бетонного фундаменту за допомогою анкерних болтів (5), які в комплекті мають анкерні шайби (6) та гайку з контргайкою. Анкерна група виконана з низьколегованої конструкційної сталі 09Г2С, що забезпечує високу міцність

стержня на відрив під дією зовнішнього навантаження. Хімічний склад та механічні властивості сталі 09Г2С подані у Таблиці 3.1 та 3.2 відповідно [17].

Таблиця 3.1 – Хімічний склад низьколегованої конструкційної сталі 09Г2С згідно з ДСТУ 8541

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu
≤ 0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	≤ 0,3	≤ 0,04	≤ 0,035	≤ 0,3	≤ 0,012	≤ 0,3

Таблиця 3.2 – Механічні властивості низьколегованої конструкційної сталі 09Г2С згідно з ДСТУ 8541

Клас міцності	Границя плинності, МПа	Границя міцності, МПа	Відносне видовження при розриві, %
265	265	430	21
295	295	430	
325	325	450	
345	345	480	

Опорна плита (3) передає навантаження від колони (1) на фундамент (7) за допомогою бетонної основи (8), яка виконується після встановлення металоконструкції, і забезпечує повний контакт металу з бетоном. Анкера розраховані на сприйняття тільки повздовжніх зусиль, поперечні зусилля зсуву сприймають на себе протизсувні опори (9), які передають навантаження від опорної плити на бетонну основу (підготовку) та відповідно на фундамент. Весь листовий прокат виконаний зі конструкційної нелегованої сталі С355JR.

3.2 Режим навантаження

Скінченноелементна модель з'єднання колони з бетонним фундаментом створена у програмі Idea StatiCa зображена на рис. 3.2. Даний вузол сприймає навантаження від повздовжніх сил N , поперечних Q та згинального моменту M . Дані зусилля виникають внаслідок дії постійний навантажень (власна вага),

тимчасових дій (експлуатаційні навантаження), атмосферних чинників (снігові та вітрові навантаження).

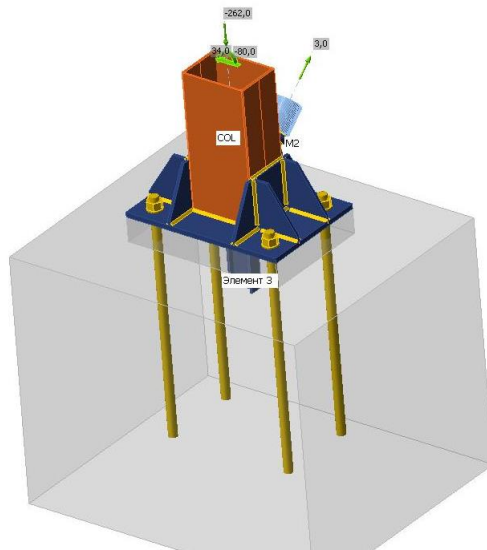


Рисунок 3.2 – Модель з'єднання колони з бетонним фундаментом в програмі Idea StatiCa

Створена модель з'єднання (рис. 3.2) піддавалася розрахунку згідно з п. 2.2 даної роботи.

3.3 Аналіз результатів досліджень

Розподіл напружень даної моделі з'єднання показано на рис. 3.3.

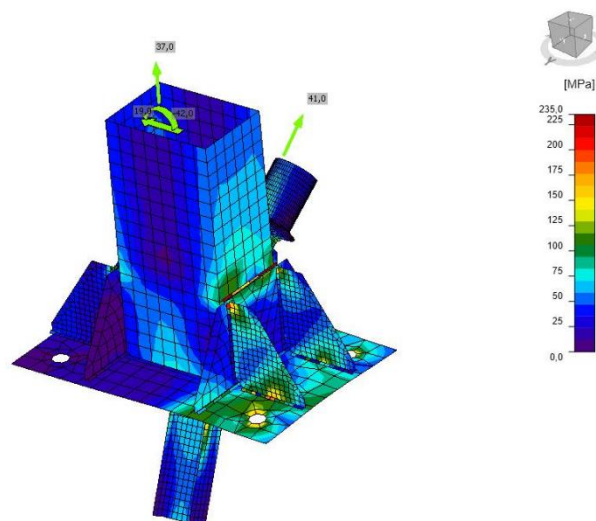


Рисунок 3.3 – Одержаний розподіл напружень у моделі з'єднання колони з бетонним фундаментом в програмі Idea StatiCa

Аналізуючи напружено деформований стан вузла в даному програмному комплексі є можливість розглянути кожен окремий елемент, його ізополя напружень і як результат приймати конструктивні рішення стосовно збільшення перерізів чи зменшення (Рис. 3.4). В табличному представленні даних справа (Рис. 3.4) кожен плоский елемент має свою назву, виділивши який ми бачимо його виділений в моделі розрахункового вузла.

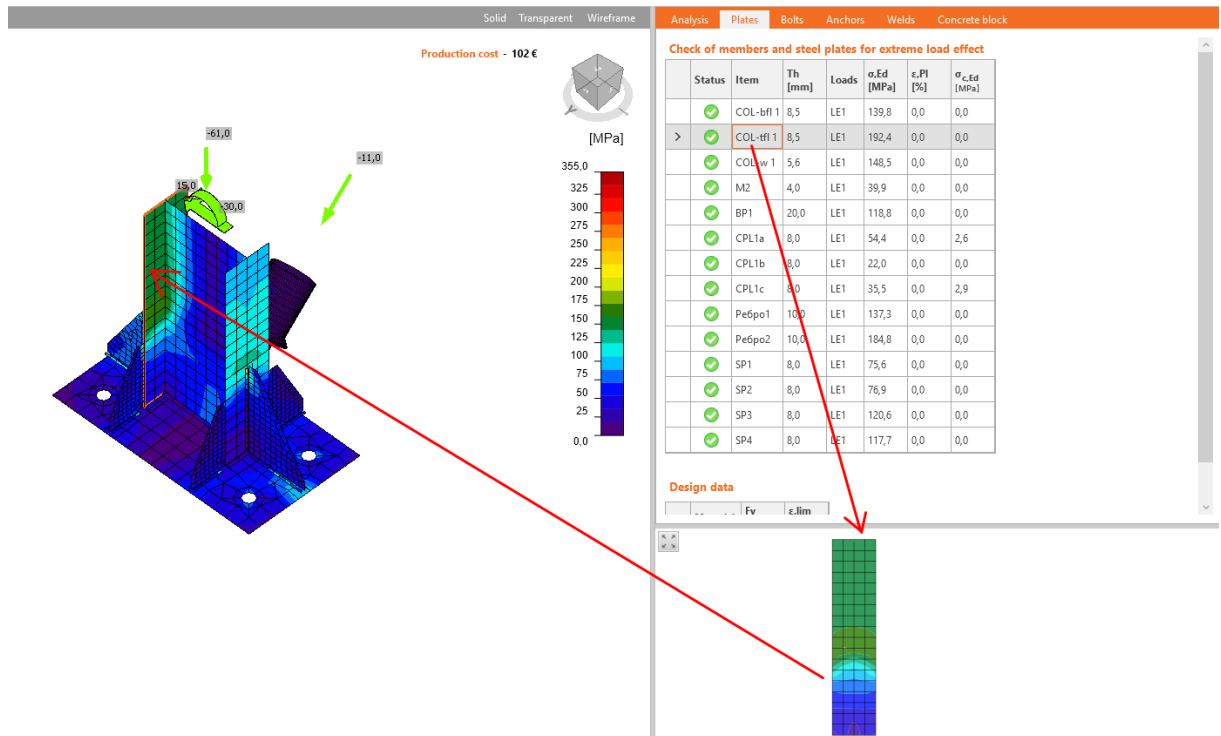


Рисунок 3.4 – Модель з'єднання колони з бетонним фундаментом в програмі Idea StatiC з виділеною полицею двотавра та його ізополями

На рис. 3.4 виділено полицю двотавра, який програма розбила на плоскі елементи, з максимальними напруженнями. Показано, що максимальні напруження складають 192,4 МПа.

На рис. 3.5. подано результати моделювання з'єднання колони з бетонним фундаментом в програмі Idea StatiC де показано обчислені значення зусиль котрі діють в анкерному блоці. Розтягуванню піддаються два анкери із повздовжнім зусиллям для елемента А3 – 33,5 кН та елемента А4 – 33,2 кН.

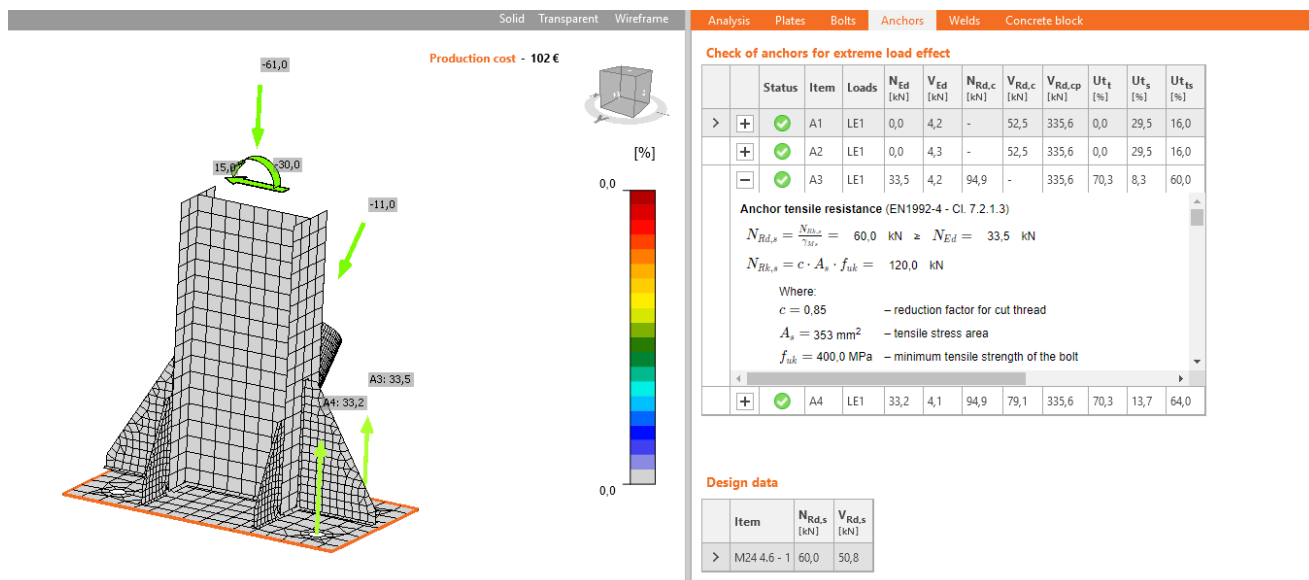


Рисунок 3.5 – Модель з'єднання колони з бетонним фундаментом в програмі Idea StatiC із поданими зусиллями які діють в анкерному блоці

На рис. 3.6 представлено інформацію про напруження які діють на бетонній поверхні під дією опорної плити, що знаходиться в складі металевої колони. Програма відображає ізополя напружень бетонної поверхні під опорною плитою.

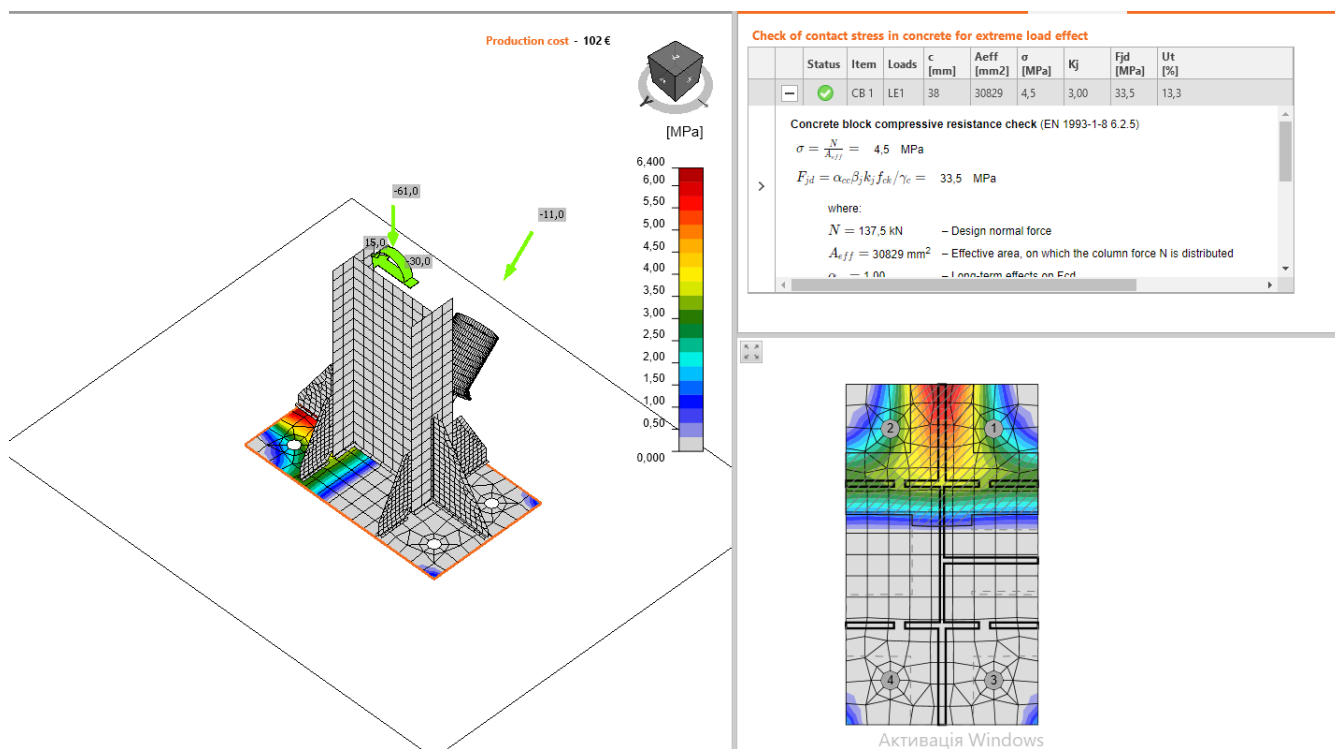


Рисунок 3.6 – Розподіл напружень, що діють на бетонній поверхні під дією опорної плити

Розрахунок в ПК Idea StatiC, що базується на методі скінченних елементів показує, що дане напруження не є рівномірним, як часто прийнято при аналітичних розрахунках. За рахунок того, що опорна плита має певну жорсткість і може деформуватись під дією зовнішнього навантаження, найбільші напруження в бетоні виникають в місцях найбільшого тиску, а саме в місці стикування ребра жорсткості та опорної плити.

3.1 Висновки за розділом 3

Запропонована модель вузла обпирання колони, для розрахунків в програмному комплексі IDEA StatiCa, дозволяє повністю врахувати особливості конструкції, включаючи форму перерізів, типи з'єднань, жорсткість елементів і вплив зовнішніх навантажень. Це забезпечує більш точний аналіз порівняно з класичними аналітичними підходами.

Було встановлено, що максимальні напруження в полиці двотаврової колони IPE200 сягають 192,4 МПа, що знаходиться в межах допустимих значень для сталі S275JR (границя плинності – 275 МПа), але наближається до граничного рівня, що вимагає подальшого аналізу або локального посилення.

Розрахунок напружень у анкерних болтах показав, що два анкери (A3 і A4) піддаються найбільшому розтягуванню — зусилля становить 33,5 кН і 33,2 кН відповідно. Це свідчить про асиметрію розподілу навантаження, яка обумовлена жорсткістю та геометрією вузла.

Програмна візуалізація розподілу напружень у бетонній основі під опорною плитою демонструє, що тиск не є рівномірним. Найбільші напруження спостерігаються в місцях прилягання ребер жорсткості, що підтверджує необхідність їх ретельного розрахунку та перевірки на продавлювання бетону.

Анкери з конструкційної сталі 09Г2С демонструють достатню міцність для сприйняття розтягувальних зусиль, при цьому їхня ефективність суттєво залежить від точності монтажу, якості замонолічування та дотримання глибини закладання анкерів.

Аналіз конструкції показав, що опорна плита товщиною 20 мм працює не лише як елемент передачі навантаження, а й як частина жорсткої підсистеми, що рівномірно передає зусилля на анкерну групу та бетон.

Застосування ПК, що базується на методі скінченних елементів дозволяє виявити критичні зони напружень та візуалізувати їх розподіл, що дає змогу ухвалювати рішення про необхідність посилення, зміну товщини елементів або розташування ребер жорсткості.

Загалом, результати моделювання підтверджують, що розглянута конструкція вузла є працездатною при заданих навантаженнях, однак потребує додаткових локальних перевірок та контролю виконання на стадії монтажу, особливо в частині закладних елементів і контактних поверхонь.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У сучасному будівництві питання охорони праці та безпеки життєдіяльності набувають особливого значення, з огляду на високі ризики, пов'язані з виконанням монтажних, зварювальних та оздоблювальних робіт. Особливу увагу слід приділяти процесу монтажу колон до фундаменту, оскільки він є надзвичайно відповідальним як з точки зору конструктивної безпеки, так і з огляду на технічну складність та небезпеки для працівників.

Будь-яке відхилення від затверджених технологій або ігнорування вимог нормативної документації може призвести до травматизму, пошкодження конструкцій або навіть фатальних наслідків. Тому головною метою цього розділу є всебічне висвітлення питань охорони праці та забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях під час виконання всіх етапів робіт у вузлі примикання колони до фундаменту.

Основні етапи, які охоплює дана інструкція:

- влаштування стрічкових або окремо-стійних фундаментів;
- монтаж колон;
- виконання зварювальних робіт;
- проведення антикорозійного захисту металевих конструкцій;
- запобігання надзвичайним ситуаціям та алгоритми дій у разі їх виникнення.

4.1 Охорона праці

Під час монтажу будівельних конструкцій, крім погодженого і затвердженого у встановленому порядку ПВР, необхідно виконувати вимоги дійсного документа НПАОП 0.00-1.80-18 Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання [18], а також інших державних і відомчих нормативних актів і документів з урахуванням змін, які публікуються у журналі "Охорона праці" [19].

Під час монтажу будівельних конструкцій основними шкідливими виробничими факторами слід вважати:

- машини і механізми, що рухаються і працюють, включаючи вантажопідіймальні;
- переміщення при підйомі і установці в проектне положення конструктивних елементів будівельних конструкцій, а також укрупнених блоків будинків і споруд;
- втрату стійкості змонтованих чи таких, що монтуються будівельних майданчиків;
- розташування робочого місця на висоті від поверхні землі, підлоги, міжповерхових перекриттів і робочих чи монтажних площадок;
- недостатню освітленість робочої зони;
- дію вітру на вантажопідіймальні крани, а також на окремо змонтовані будівельні конструкції чи частини будинків і споруд;
- фізичні перевантаження при перенесенні вантажів вручну;
- підвищену чи знижену температуру повітря робочої зони;
- небезпечну і шкідливу дію на людей електричного струму, електричної дуги, електромагнітного випромінювання і статичної електрики;
- вплив підвищеного рівня ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань при виконанні електрозварювальних робіт, а також іонізуючих випромінювань при контролі якості зварених швів;
- токсичний і дратівний вплив на дихальні шляхи газів і аерозолів, що утворюються при зварювальних роботах;
- токсичний і дратівний вплив лакофарбових матеріалів, а також пари від них на дихальні шляхи людини при виконанні антикорозійних робіт;
- використання порохового монтажного інструмента.

4.1.1 Вимоги до будівельно-монтажних площадок

Організація будівельного майданчика (розташування складських площадок, санітарно-побутових містечок і ділянок, огорожень, мереж тимчасового

електропостачання, водопостачання і пожежегасіння, тимчасових і постійних доріг і шляхів руху, стоянок для роботи вантажопідіймальних машин і механізмів і т.д.) повинна відповідати будгєнплану підготовчого періоду, розробленому в складі ПКД і ПВР. Будівельно-монтажна площадка повинна розташовуватися в межах ділянки, відведеної під забудову (реконструкцію) згідно з актом-допуском, оформленим у встановленому порядку.

Будівельно-монтажні площадки на території діючих підприємств, а також у зонах житлової забудови необхідно огорожувати. Огородження, що примикають до місць масового проходу людей, необхідно обладнати суцільним захисним козирком.

У період інженерної підготовки (підготовчий період) будівельно-монтажну площадку звільняють від усіх заважаючих зведенню об'єкта будинків, споруд, дерев і ін., виконують першочергові роботи по плануванню території, забезпечують тимчасовий стік поверхневих вод, переносять існуючі підземні і наземні інженерні мережі, влаштовують тимчасове освітлення, мережі водопостачання, енергопостачання і пожежегасіння, будують автодороги, шляхи руху і стоянки вантажопідіймальних машин і механізмів, зводять необхідні тимчасові будинки і спорудження, використовуючи для цього, в першу чергу, існуючі будинки чи збірно-розбірні і пересувні тимчасові побутові приміщення, виконують геодезичну розбивку та ін.

Готовність будівельно-монтажної площадки до початку монтажу будівельних конструкцій повинна бути підтверджена актом інженерної підготовки площадки.

При організації будівельно-монтажної площадки, розміщенні ділянок монтажних робіт, робочих місць, дії вантажопідіймальних машин і механізмів, проходів для людей виникають небезпечні для людей зони, у межах яких постійно діють чи потенційно можуть діяти небезпечні виробничі фактори.

Зони постійно діючих небезпечних виробничих факторів (неізолювані струмоведучі частини електроустановок, ЛЕП, необгороджені перепади по висоті на 1,3 м і більше, місця, де рівні шуму, вібрації або забруднення повітря

перевищують допустимі гігієнічні норми) повинні бути обгороджені захисними огороженнями згідно з ДСТУ Б В.2.8-43:2011 Огородження інвентарні будівельних майданчиків та ділянок виконання будівельно-монтажних робіт. Технічні умови [20].

Зони потенційно діючих виробничих факторів (монтажні зони, ділянки території поблизу споруджуваного будинку, споруди, поверхи (яруси) будинків і споруд, над якими відбувається монтаж (демонтаж) будівельних конструкцій, зони переміщення машин чи їх частин, робочих органів, місць, над якими відбувається переміщення вантажів), необхідно обгороджувати сигнальними огороженнями відповідно до ДСТУ Б В.2.8-43:2011.

4.1.2 Вимоги до вихідних матеріалів, будівельних конструкцій

Елементи будівельних конструкцій до подачі їх зі складу на місце установки в проектне положення повинні бути:

- розсортовані по марках і черговості їх монтажу;
- очищені від іржі, бруду і полою;
- оглянуті і виявлені ушкодження, включаючи ушкодження пофарбованої поверхні, усунуті;
- підготовлені до монтажу - максимально укрупнені, на елементи конструкцій нанесені необхідні риси, знаки;
- у необхідних випадках підлягати загальній чи контрольній збірці;
- позначені в обов'язковому порядку місця стропування і центри ваги на елементах, що мають значну довжину (понад 15 м), обсяг (понад 6 м³) чи масу (понад 80% вантажопідйомності крана на відповідному вильоті стріли).

Подача елементів будівельних конструкцій на укрупнювальне складання і на установку в проектне положення повинна виконуватися комплектно в черговості, що відповідає послідовності виконання монтажних робіт. Положення елементів у просторі при подачі повинні забезпечувати безпеку і найменшу трудомісткість

монтажних робіт і виключати необхідність у перевантаженнях, розворотах, кантуваннях і т.п.

Елементи і конструкції, що недостатньо тверді і міцні (кроквяні і підкроквяні ферми, монорейки, листові конструкції і т.п.), при необхідності слід тимчасово підсилити до їх підйому відповідно до розрахунку.

Прожарювання і сушіння електродів, дроту і флюсу повинні виконуватися в спеціально призначених для цієї мети устаткуваннях.

Усі партії вихідних компонентів, що надходять, і готових антикорозійних і фарбувальних складів і матеріалів, у тому числі і шкідливих речовин, повинні мати аналітичний паспорт із вказівкою наявності шкідливих речовин, параметрів, що характеризують пожежонебезпеку і вибухонебезпеку, рекомендованих термінів і умов збереження, метод нанесення, спосіб і регламент безпечного виконання антикорозійних і фарбувальних робіт, рекомендації із засобів колективного і індивідуального захисту.

4.1.3 Вимоги до складування, збереження і транспортування вихідних матеріалів і будівельних конструкцій

Якісний монтаж будівельних конструкцій забезпечується шляхом створення при об'єктах будівництва (реконструкцій) складів конструкцій. Загальну потребу в складських площах необхідно визначати для періоду найбільш інтенсивного виконання монтажних робіт з розрахунку:

Для центральних складів:

- металоконструкцій - до тримісячного запасу з урахуванням площ для сортування і укрупнювального складання металоконструкцій;
- збірного залізобетону - до півторамісячного запасу з урахуванням площ для сортування конструкцій;

Для приоб'єктних складів:

- металоконструкцій - не менше двотижневого запасу конструкції з урахуванням площ для сортування і укрупнювального складання металоконструкцій;

- збірного залізобетону - не менше п'ятиденної потреби в них з урахуванням площ для сортування конструкцій.

Площадки для складування, укрупнювального складання і збереження будівельних конструкцій і матеріалів повинні бути сплановані, утрамбовані і, у необхідних випадках, відсипані непросадним матеріалом (гравієм, щебенем, шлаком і т.п.), що відповідає розрахункам. Вони також повинні мати ухили для стоку атмосферних вод.

Будівельні конструкції і матеріали треба зберігати з дотриманням нижченаведених вимог безпеки:

- кроквяні і підкроквяні ферми, а також залізобетонні балки - у вертикальному положенні в спеціальних касетах або кондукторах;

- ригелі, колони і сталеві балки - у штабелях висотою до 2м на підкладках і прокладках;

- стінові панелі "сендвич" - у пакетах з висотою штабеля 2,4 м, два пакети по висоті за умов укладання поруч у положенні "плашмя" двох пакетів (в одному пакеті 13 панелей "сендвич");

- плити покриття і перекриттів - у штабелях висотою не більше 2,5 м на підкладках і прокладках;

- профільні листи - у пачках, при укладанні поруч двох пачок у плані і двох пачок по висоті 1,6 м;

- великогабаритне і великовагове устаткування і його частини - в один ряд на підкладках;

- труби діаметром до 300 мм - у штабелях висотою до 3 м у сідло без підкладок. Нижній ряд труб повинен бути покладений на підкладки і укріплений інвентарними металевими башмаками чи кінцевими упорами.

Забороняються складувати елементи конструкцій і деталі на кранових шляхах, а також між стінами будинків і споруд з обпиранням на них.

Роботи з укладання і розбирання штабелів матеріалів і конструкцій необхідно раціонально механізувати. При виконанні робіт на штабелях висотою більше 1,3 м необхідно застосовувати переносні інвентарні сходи.

Відстань від штабелів матеріалів і конструкцій до брівок виїмок (котлованів, траншей) повинна бути призначена розрахунком на стійкість укосів (кріплень), як правило, за межами призми обвалення, але не менше 1 м до брівки природного укосу або кріплення виїмки.

Безпеку праці при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт слід забезпечувати відповідно до ОСТ 6-28-012-86 Роботи вантажно-розвантажувальні. Загальні вимоги безпеки (НПАОП 63.11-7.01-86) [21] і НПАОП 0.00-1.80-18 [18].

Збереження вихідних зварювальних матеріалів повинне здійснюватися на складах, що обладнані і утримуються у відповідності з вимогами будівельних, санітарних і протипожежних норм і правил, затверджених у встановленому порядку.

4.1.4 Вимоги до технологічних процесів

Виробничі процеси по монтажу будівельних конструкцій повинні бути організовані відповідно до ПВР, що містять заходи охорони праці, викладені в ДБН А.3.2-2-2009 Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення (НПАОП 45.2-7.02-12) [22] та НПАОП 0.00-1.80-18, а також іншим нормативним актам і документам, діючим в Україні.

ПВР повинні розроблятися в спеціалізованій проектній організації або проектною групою (відділом) будівельно-монтажної організації, що має ліцензію на даний вид робіт.

Проектні групи будівельних організацій можуть розробляти технологічні записки на нескладні в інженерному відношенні будинки і спорудження з незначними по обсягу робіт виробничими організаціями, необхідність виконання яких виникла на місцях. При цьому повинні бути розроблені заходи, що забезпечують охорону праці з урахуванням конкретних місцевих умов.

ПВР і технологічні записки повинні затверджуватися головним інженером будівельно-монтажної організації і узгоджуватися з генпідрядником (чи іншими субпідрядними організаціями) і в обов'язковому порядку з відповідними службами замовника, а при розташуванні об'єкта в зоні житлової забудови з відповідними органами управління цією житловою забудовою.

Перед початком робіт керівництво будівельно-монтажної організації повинно:

- забезпечити вивчення ПВР особами, відповідальними за виконання робіт;
- ознайомитися на місці з майбутніми умовами роботи, звернувши особливу увагу на можливість виникнення виробничої небезпеки і за її наявності видати відповідальному виконавцю робіт наряд-допуск на виконання робіт підвищеної небезпеки.

Переміщення вантажів над перекриттями, під якими розташовані виробничі, житлові і службові приміщення, де знаходяться люди, допускається у виняткових випадках після розробки заходів, що забезпечують безпечне виконання цих робіт. Такі роботи повинні виконуватися під безпосереднім керівництвом особи, відповідальної за безпечне виконання монтажу і переміщення вантажів кранами.

Підйом і переміщення вантажу декількома кранами допускається в окремих випадках і повинне виконуватися по ПВР, розробленому проектною спеціалізованою організацією, виключаючи при цьому можливість перевантаження кожного з цих кранів.

Виконання будь-яких робіт з головних балок мостового крана допускається здійснювати за наявності ПВР чи технологічної записки, а також наряду-допуску, оформленого у встановленому порядку, із указівкою всіх заходів безпеки, що виконуються замовником і підрядчиком.

Місця виконання робіт по підйому і переміщенню вантажів у темний час доби повинні бути освітлені відповідно з діючими нормативами. Освітлювати їх допускається з використанням переставних інвентарних прожекторних щогл, а також електроприладів освітлення, установлюваних на металеві конструкції

вантажопідіймальних кранів. На електричну частину вищевказаних способів освітлення необхідно розробляти спецпроект.

Підйом, переміщення і установку в проектне положення вантажів, що мають значну довжину, об'єм і масу (див. п.3.1), а також вантажів, підйом яких здійснюється декількома кранами, необхідно виконувати під безпосереднім керівництвом осіб, відповідальних за безпечне виконання робіт по переміщенню вантажів кранами, чи спеціально призначеного ІТП.

Підйом вантажів, що мають значну довжину, об'єм чи масу (металеві рулони, бункери, колони, укрупнені блоки веж і труб (див. п. 3.1.10)), з горизонтального положення у вертикальне з використанням вантажопідіймальних кранів повинні виконуватися відповідно до ПВР, у якому необхідно відобразити послідовність виконання операцій (синхронного переміщення вантажу і роботи крана), способи стропування, а також застосовані при цьому монтажні пристосування (шарніри, кантователі, розчалювання, відтягнення і ін.) і заходи безпеки.

Усі монтажні пристрої і пристосування, а також альпіністське оснащення необхідно піддавати профілактичному огляду відповідно до графіка проведення цих робіт. Результати огляду оформляють у спеціальному журналі.

При виконанні робіт по виконанню з'єднань на дюбелях слід дотримуватися інструкції з експлуатації порохових монтажних інструментів, що регламентують порядок введення їх в експлуатацію, правил експлуатації, технічного обслуговування, вимог безпеки, збереження, обліку і контролю пістолетів і монтажних патронів до них.

Зварювальні роботи слід виконувати по затвердженому проекту виконання зварювальних робіт (ПВЗР) чи іншої технологічної документації.

Для зниження обсягу верхолазних робіт доцільно монтаж будівельних конструкцій виконувати укрупненими блоками, а установку блоків покриття в проектне положення здійснювати методом насувів із застосуванням спеціальних засобів механізації (установників, вантажних візків і т.п.).

Металеві конструкції, що поставляються на монтажну площадку, повинні бути пофарбовані. Після їх установки в проектне положення фарбування чи антикорозійний захист виконують тільки в місцях стиків або з'єднань конструкцій.

До виконання з'єднань на високоміцних болтах з контрольованим натягом можуть бути допущені працівники, що пройшли спеціальне навчання. Усі роботи з натягу і контролю натягу слід реєструвати в журналі виконання з'єднань на болтах з контрольованим натягом.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

В табл. 4.1. наведено аналіз ризиків на об'єкті будівництва та потенційні наслідки.

Таблиця 4.1 – Аналіз ризиків на об'єкті будівництва

Подія	Ймовірність	Наслідки	Превентивні заходи
Падіння колони	Середня	Травми, смерть	Перевірка з'єднань, тренування персоналу
Обвал траншеї	Висока	Травми	Кріплення, заборона працювати наодинці
Пожежа при зварюванні	Середня	Опіки, вибух	Пожежогасіння, евакуаційні виходи
Ураження струмом	Низька	Смерть	Заземлення, контроль стану кабелів

4.2.1 Алгоритм дій при НС

Дії у випадку падіння колони.

Падіння несучих конструктивних елементів, таких як колони, є серйозним інцидентом, що часто трапляється на будівельних майданчиках і може призвести до значних руйнувань та людських жертв. Послідовність дій у такому випадку має бути чіткою та рішучою.

Першочерговою дією є негайна зупинка всіх без винятку робіт. Ця вимога стосується не лише зони безпосереднього обвалу, але й усіх прилеглих ділянок, де існує навіть найменший ризик подальших руйнувань, падіння уламків або дестабілізації інших конструкцій. Необхідно забезпечити миттєве вимкнення будь-якого обладнання, що може створювати вібрації, додаткове навантаження на конструкції або іншим чином ускладнювати ситуацію.

Наступним критично важливим кроком є надання першої домедичної допомоги постраждалим. Однак, перш ніж наближатися до постраждалих, необхідно переконатися у власній безпеці та в тому, що відсутня безпосередня загроза повторних обвалів або падіння елементів конструкцій. Допомога надається відповідно до знань та навичок, отриманих під час проходження щорічного курсу домедичної допомоги, з чітким дотриманням пріоритетності дій: швидка оцінка стану постраждалого, негайна зупинка масивних кровотеч, забезпечення прохідності дихальних шляхів, а також інші заходи, спрямовані на підтримку життєвих функцій до прибуття медиків.

Паралельно з наданням допомоги або негайно після оцінки ситуації здійснюється оперативний виклик швидкої медичної допомоги та інформування керівництва об'єкта. При виклику швидкої допомоги диспетчеру необхідно надати максимально повну та точну інформацію: точне місцезнаходження інциденту, орієнтовна кількість постраждалих, характер видимих травм, наявність затиснутих людей, а також будь-які потенційні загрози для рятувальників (наприклад, нестійкі конструкції, пошкоджені електромережі). Керівництво об'єкта інформується про масштаб інциденту, вже вжиті заходи, кількість постраждалих та потребу в додаткових ресурсах (техніка, персонал, матеріали).

Після евакуації постраждалих та забезпечення їх медичною допомогою, необхідно вжити заходів щодо забезпечення охорони небезпечної зони. Це включає встановлення тимчасових огорожень на безпечній відстані від місця обвалу, розміщення добре видимих попереджувальних знаків та, за необхідності, виставлення постів для недопущення сторонніх осіб та працівників, не залучених

до аварійно-рятувальних робіт, в зону можливих повторних обвалів або падіння уламків конструкцій.

Важливим завершальним етапом реагування на інцидент є підготовка до проведення розслідування причин події. Для об'єктивного з'ясування обставин та причин падіння колони надзвичайно важливо, наскільки це можливо без шкоди для рятувальних робіт та безпеки людей, зберегти обстановку на місці події. Це передбачає фіксацію (фото-, відео-, схематичну) положення уламків конструкцій, пошкодженого обладнання, збір свідчень очевидців, вилучення та збереження відповідної проектної та виконавчої документації. Послідовність дій, розроблена для випадку падіння колони – зупинка робіт, надання допомоги, виклик екстрених служб, забезпечення охорони зони та підготовка до розслідування – є не просто ізольованим протоколом. Вона являє собою універсальну модель реагування, яка, з певними адаптаціями, може бути ефективно застосована і для інших типів інцидентів, пов'язаних із раптовим руйнуванням будівельних конструкцій, таких як обвал балок, ферм, частин перекриття або стін. Ця модель включає фундаментальні етапи: негайне усунення безпосередньої небезпеки для людей, надання допомоги тим, хто її потребує, оперативне залучення зовнішніх спеціалізованих ресурсів, контроль доступу до небезпечної зони та подальший аналіз причин для запобігання подібним випадкам у майбутньому. Таким чином, детально розроблений алгоритм для падіння колони слугує не лише для цього конкретного випадку, а й як своєрідний шаблон, що забезпечує уніфікований та системний підхід до реагування на цілий клас аварійних ситуацій.

Дії у випадку обвалу траншеї.

Обвал ґрунту в траншеях та котлованах є одним з найнебезпечніших видів надзвичайних ситуацій на будівельних майданчиках, оскільки несе високий ризик асфіксії (задушення) та важкого травмування працівників, засипаних землею. Специфіка таких інцидентів вимагає особливого підходу до організації рятувальних робіт.

Першочерговим завданням є організація негайної евакуації персоналу з небезпечної зони. Евакуації підлягають не лише працівники, які безпосередньо

перебували в траншеї, що обвалилася, але й ті, хто працює в сусідніх траншеях або поблизу них, якщо існують видимі ознаки нестійкості ґрунту (тріщини, зсуви, осідання). Важливо, щоб евакуація проходила швидко, але без паніки, з використанням заздалегідь передбачених безпечних шляхів виходу, таких як встановлені драбини, трапи або пологі укоси.

Одночасно з евакуацією або негайно після неї необхідно забезпечити безперешкодний доступ для рятувальних служб до місця обвалу. Це включає комплекс заходів: термінове розчищення під'їзних шляхів від будівельних матеріалів, техніки та будь-яких інших перешкод; звільнення достатнього простору навколо зони обвалу для безпечного розміщення та маневрування важкої рятувальної техніки (екскаваторів, кранів) та спеціального обладнання; надання керівнику рятувальних робіт максимально точної інформації про можливе місцезнаходження постраждалих (якщо відомо), глибину траншеї, тип ґрунту, а також про наявність та розташування підземних інженерних комунікацій (кабелі, трубопроводи), які можуть становити додаткову небезпеку або бути пошкоджені під час рятувальних робіт.

Перед початком активних рятувальних робіт, а також паралельно із забезпеченням доступу для спецтехніки, надзвичайно важливою є первинна оцінка ситуації та вжиття заходів для запобігання подальшим обвалам. Необхідно провести ретельний візуальний огляд стану бортів траншеї поблизу місця обвалу, виявити наявність свіжих тріщин, зсувів ґрунту, нависаючих мас землі. Слід категорично наголосити, що будь-які спроби самостійного відкопування постраждалих без належного інженерного забезпечення, спеціального обладнання (щити для кріплення, розпірки) та ретельної оцінки ризиків є неприпустимими, оскільки можуть призвести до повторних обвалів та загибелі як самих рятувальників-аматорів, так і збільшити небезпеку для вже засипаних людей. Можливі превентивні заходи можуть включати тимчасове укріплення країв траншеї доступними засобами, відведення поверхневих вод, що можуть підмивати ґрунт, та припинення будь-яких робіт, що створюють вібрацію поблизу.

Після завершення рятувальної операції та надання допомоги постраждалим, розпочинається етап підготовки до встановлення причин інциденту. Аналогічно до ситуації з падінням колони, для об'єктивного розслідування необхідно зібрати та зафіксувати всю релевантну інформацію. Це включає дані про фактичний стан та тип кріплень стінок траншеї (якщо вони були встановлені та відповідали проекту виконання робіт), погодні умови напередодні та під час інциденту (опадів, температура), детальний опис типу ґрунту та його стану (вологість, сипучість), фактичну глибину та параметри траншеї, наявність та справність засобів індивідуального та колективного захисту, а також свідчення очевидців та працівників, які виконували роботи.

Дії у випадку виникнення пожежі

Пожежа є однією з найпоширеніших та найнебезпечніших надзвичайних ситуацій, що може виникнути на будь-якому об'єкті. Швидкість її розвитку та руйнівна сила вимагають від персоналу негайних, злагоджених та правильних дій. Покроковий опис цих дій, від первинних заходів гасіння до повномасштабної евакуації та взаємодії з ДСНС, є запорукою мінімізації наслідків.

При виявленні осередку загоряння, першою дією, за умови відсутності безпосередньої загрози життю та здоров'ю, є спроба негайного використання первинних засобів пожежогасіння. Це стосується лише тих випадків, коли загоряння має невеликі розміри, вогонь ще не набрав сили, і працівник, який намагається його загасити, має чітке уявлення про те, як правильно користуватися наявним вогнегасником, враховуючи його тип та клас пожежі (горіння твердих речовин, рідин, газів, електрообладнання тощо). Наявність достатньої кількості справних вогнегасників, передбачена вимогами, є ключовою передумовою для виконання цього кроку. Перед тим, як розпочати гасіння, необхідно швидко оцінити ризик: чи не відріже вогонь шляхи відступу, чи не існує небезпеки вибуху або ураження електричним струмом. Якщо є сумніви або небезпека очевидна, від самостійних спроб гасіння слід відмовитися.

У випадку, якщо первинні засоби пожежогасіння виявилися неефективними, або якщо вогонь швидко поширюється, створюючи значне задимлення, загрозу

вибуху чи іншу безпосередню небезпеку для людей, необхідно негайно прийняти рішення про загальну евакуацію. Критеріями для такого рішення є швидке збільшення площі горіння, інтенсивне виділення диму, що обмежує видимість та ускладнює дихання, характерні звуки (тріск, гул), що свідчать про інтенсивний розвиток пожежі, або явна неможливість впоратися з вогнем наявними силами та засобами. Після прийняття рішення про евакуацію необхідно негайно подати сигнал тривоги (голосом, за допомогою ручного пожежного сповіщувача, сирени або іншим встановленим на об'єкті способом) та розпочати організований вихід людей з небезпечної зони.

Одночасно зі спробами гасіння (якщо вони доцільні) або негайно після прийняття рішення про евакуацію, не чекаючи результатів власних дій, необхідно здійснити негайний виклик підрозділів ДСНС. Зволікання з викликом пожежно-рятувальної служби є неприпустимим, оскільки кожна втрачена хвилина може призвести до значного поширення вогню та ускладнення його гасіння. При виклику ДСНС необхідно чітко повідомити диспетчеру: точну адресу об'єкта та місце виникнення пожежі (поверх, номер приміщення, сектор); що саме горить (матеріали, обладнання); чи є загроза людям та чи проводиться евакуація; своє прізвище та контактний телефон.

4.3 Комплексне забезпечення безпеки на об'єкті

Ефективне реагування на надзвичайні ситуації є лише однією зі складових загальної системи безпеки. Не менш важливим, а часто й більш пріоритетним, є створення умов, що запобігають виникненню НС або мінімізують їх імовірність. Це досягається шляхом впровадження комплексу превентивних заходів, що охоплюють пожежну безпеку, медичне забезпечення та налагодження співпраці з державними рятувальними службами.

4.3.1 Заходи пожежної безпеки

Пожежна безпека на об'єкті – це система організаційних та технічних заходів, спрямованих на запобігання пожежам, обмеження їх поширення, а також створення умов для успішного гасіння та безпечної евакуації людей.

Одним із ключових елементів цієї системи є наявність та належна комплектація пожежних щитів на кожному об'єкті. Пожежний щит (або стенд) має бути укомплектований первинними засобами пожежогасіння відповідно до чинних нормативних вимог та специфіки об'єкта. Стандартна комплектація зазвичай включає вогнегасники (кількість та тип яких залежать від площі та категорії приміщення), лопати (совкові та штикові), багри, сокири, пожежні відра (конусоподібні), ящик з піском або іншим вогнегасним матеріалом (наприклад, перлітом), а також кошму (протипожежне покривало). Пожежний щит повинен бути розташований на видному та легкодоступному місці, пофарбований у сигнальний червоний колір, мати чіткі написи та інвентарний номер. Місцезнаходження всіх пожежних щитів на території об'єкта має бути добре відоме всьому персоналу, а проходи до них – завжди вільними.

Важливою є також відповідність нормативам щодо кількості та типів вогнегасників, а також їх належне технічне обслуговування. Вимога щодо наявності не менше 2 вогнегасників на 100 м² площі робіт є мінімальною і може бути значно збільшена залежно від категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою, класу можливої пожежі, кількості та властивостей горючих матеріалів, що знаходяться на об'єкті, та специфіки виконуваних технологічних процесів. Не менш важливим за кількість є правильний вибір типів вогнегасників (вуглекислотні, порошкові, водяні, пінні) відповідно до потенційних класів пожеж. Усі вогнегасники повинні регулярно проходити технічне обслуговування, що включає перевірку термінів придатності вогнегасної речовини, тиску в корпусі (для закачних типів), цілісності пломб, стану шлангів та розпилювачів, а також загального зовнішнього вигляду. Несправні або прострочені вогнегасники підлягають негайній перезарядці або заміні. Весь персонал об'єкта повинен бути навчений правилам користування тими типами вогнегасників, які наявні на їхніх робочих місцях.

Особливу увагу слід приділяти поводженню з легкозаймистими та горючими рідинами (ЛЗР та ГР). Встановлюється сувора заборона на зберігання ЛЗР та ГР без відповідного погодження з органами державного пожежного нагляду. Таке погодження є не просто формальністю, а вимогою, що забезпечує контроль за дотриманням безпечних умов. Це включає не лише отримання офіційного дозволу, але й неухильне дотримання всіх встановлених правил та умов зберігання. ЛЗР та ГР повинні зберігатися у спеціально обладнаних для цього приміщеннях (складах) або на відкритих майданчиках, що відповідають вимогам пожежної безпеки. Такі місця мають бути оснащені відповідними засобами пожежогасіння (вогнегасники, ящики з піском, стаціонарні системи пожежогасіння за потреби), мати належну вентиляцію (для закритих приміщень), заземлення (для запобігання накопиченню статичної електрики) та відповідати вимогам щодо сумісного зберігання різних типів речовин та матеріалів. Дотримання цих вимог є критично важливим для запобігання виникненню пожеж та вибухів.

4.3.2 Медичне забезпечення та домедична допомога

Збереження життя та здоров'я працівників є пріоритетом, тому належне медичне забезпечення та готовність персоналу до надання домедичної допомоги відіграють ключову роль у системі безпеки на об'єкті. Це включає як оснащення необхідними засобами, так і систематичне навчання працівників.

Обов'язковою вимогою є оснащення кожної робочої бригади, а також стаціонарних робочих місць, аптечкою першої медичної допомоги. Склад аптечки повинен відповідати затвердженому на підприємстві переліку, який розробляється з урахуванням специфіки виконуваних робіт та потенційних ризиків для здоров'я (наприклад, наявність засобів для обробки опіків при роботах з високими температурами, засобів для зупинки кровотеч при механічних роботах тощо). Місцезнаходження аптечки має бути відоме всім членам бригади (або працівникам підрозділу), чітко позначене відповідним знаком (білий хрест на зеленому фоні) та легкодоступне. Відповідальна особа повинна регулярно, не рідше одного разу на

шість місяців, перевіряти вміст аптечки, контролювати терміни придатності медикаментів та виробів медичного призначення, своєчасно поповнювати або замінювати їх.

Надзвичайно важливим аспектом є регулярне проходження всіма працівниками щорічного курсу навчання з надання домедичної допомоги. Таке навчання не повинно обмежуватися лише теоретичним викладом матеріалу. Ключовим елементом є практичне відпрацювання навичок на спеціальних манекенах та тренажерах. Програма навчання має охоплювати основні невідкладні стани: серцево-легеневу реанімацію, методи зупинки різних видів кровотеч (артеріальної, венозної, капілярної), надання допомоги при опіках, обмороженнях, травмах опорно-рухового апарату (переломи, вивихи), отруєннях, ураженні електричним струмом та інших станах, що загрожують життю. Щорічне оновлення та закріплення цих знань і навичок є критично важливим для підтримки їх на належному рівні, оскільки без регулярної практики вони швидко втрачаються.

4.3.3 Організація співпраці з ДСНС

Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) є ключовим державним органом, відповідальним за реалізацію державної політики у сферах цивільного захисту, пожежної та техногенної безпеки, рятувальної справи. Налагодження ефективної формальної та практичної взаємодії з територіальними підрозділами ДСНС є невід'ємною частиною системи готовності будь-якого підприємства до НС.

Основою такої співпраці є **необхідність розробки та затвердження детального «Плану реагування на надзвичайні ситуації» (ПРНС)** для конкретного об'єкта. Цей план не повинен бути формальним документом, розробленим для "галочки". Це має бути комплексний, робочий документ, який враховує специфіку виробничої діяльності підприємства, детально аналізує потенційні ризики та загрози (пожежі, вибухи, обвали, хімічні аварії тощо), оцінює наявні на об'єкті сили та засоби для реагування, а також чітко розподіляє обов'язки

та порядок дій усього персоналу, від керівників до рядових працівників, на випадок виникнення різних сценаріїв НС. ПРНС має бути узгоджений з відповідним територіальним органом ДСНС, затверджений керівником підприємства та доведений до відома всіх працівників під підпис. Він повинен регулярно (не рідше одного разу на рік, а також при зміні умов діяльності) переглядатися та актуалізуватися.

Для забезпечення більш тісної та оперативної взаємодії доцільною є формалізація відносин шляхом укладання угоди з місцевим відділенням ДСНС на аварійно-рятувальне обслуговування. Така угода може передбачати низку переваг для підприємства. По-перше, це можливість оперативного залучення спеціалізованих аварійно-рятувальних формувань ДСНС, оснащених необхідною технікою та обладнанням, для ліквідації складних НС, що перевищують можливості власних сил підприємства. По-друге, це отримання кваліфікованої консультаційної допомоги від фахівців ДСНС з питань розробки та вдосконалення ПРНС, організації навчань, облаштування об'єкта засобами протипожежного захисту та оповіщення. По-третє, це можливість спільного планування та проведення профілактичних заходів. Крім того, попереднє ознайомлення фахівців ДСНС зі специфікою об'єкта, його плануванням, потенційними небезпеками та наявними системами безпеки, що може бути частиною такої угоди, значно скорочує час їх реагування та підвищує ефективність дій у разі виникнення реальної НС. Комплекс заходів, спрямованих на співпрацю з ДСНС, а саме розробка детального "Плану реагування на НС", регулярне проведення практичних навчань та укладання угоди про співпрацю з місцевим відділенням ДСНС, формує не просто набір окремих вимог, а взаємопов'язану систему, що працює за принципом замкненого циклу безперервного вдосконалення готовності до надзвичайних ситуацій. "План реагування на НС" слугує теоретичною основою, що визначає процедури та обов'язки. На базі цього плану проводяться щоквартальні навчання та тренування, які є практичним відпрацюванням теорії. Саме під час цих навчань виявляються слабкі місця в плані, недоліки в підготовці персоналу та проблеми у взаємодії. Укладання угоди з ДСНС та їх можлива участь у навчаннях

або надання консультацій щодо вдосконалення плану привносять цінну зовнішню експертизу та практичну підтримку. Результати навчань, виявлені недоліки та рекомендації, отримані від фахівців ДСНС, в свою чергу, мають стати основою для регулярного перегляду, оновлення та вдосконалення "Плану реагування на НС". Таким чином, ці три елементи не є ізольованими; вони утворюють динамічну систему, де план інформує та скеровує навчання, навчання тестує ефективність плану та виявляє потреби у його корекції, а угода з ДСНС може посилити як якість навчань, так і обґрунтованість самого плану. Цей процес створює цикл постійного поліпшення загальної готовності підприємства до ефективного реагування на будь-які НС.

4.3 Висновки за розділом 4

Комплексне дотримання вимог охорони праці та реагування на надзвичайні ситуації забезпечує не лише безпечне виконання робіт у вузлі примикання колони до фундаменту, але й сприяє загальному підвищенню культури безпеки в будівельній галузі. Регламентовані дії, підкріплені навчанням, інструктажами та наявністю засобів захисту — це запорука нульового чи мінімального травматизму та високої якості виконання робіт.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було встановлено, що сучасне проектування вузлів обпирання сталевих колон базується на європейських стандартах (ДСТУ Б EN 1993, ДСТУ Б EN 1090), які забезпечують високий рівень надійності та безпеки. З'єднання через опорну плиту залишається ефективним конструктивним рішенням. Програмні засоби, зокрема IDEA StatiCa, дають змогу виконувати глибокий аналіз конструкцій із врахуванням складних навантажень, нелінійної поведінки матеріалів та потенційних режимів руйнування.

В другому розділі «Методика дослідження НДС вузла» завдяки використанню CBFEM у програмі IDEA StatiCa було продемонстровано високу точність у розрахунках. Врахування пластичності, контактних взаємодій та геометричних параметрів дозволило створити достовірну модель з'єднання. Це забезпечило можливість ефективного інженерного аналізу з урахуванням вимог нормативів Eurocode.

В третьому розділі «Результати досліджень» результати розрахунків підтвердили ефективність запропонованої конструкції. Напруження в елементах вузла перебувають у межах допустимих значень, хоча деякі компоненти (зокрема полиці колони та окремі анкери) наближаються до граничного навантаження, що вимагає додаткової перевірки чи посилення. Виявлена асиметрія розподілу навантаження, а також нерівномірний тиск у бетонній основі, підкреслюють важливість ретельного проектування і перевірки вузла на всіх рівнях.

В четвертому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» безпечне виконання робіт у зоні примикання колони до фундаменту вимагає дотримання всіх норм охорони праці, регулярного інструктування працівників, наявності засобів індивідуального захисту та плану дій у разі надзвичайних ситуацій. Це сприяє не лише зниженню ризику травматизму, а й підвищенню загальної якості будівельних робіт.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1993-1-1:2005, IDT). [Electronic resource]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=26650 (accessed: 20.05.2025).
2. ДСТУ EN 1090-3:2022 Виконання сталевих та алюмінієвих конструкцій. Частина 3. Технічні вимоги до алюмінієвих конструкцій (EN 1090-3:2019, IDT) [Electronic resource]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98592 (accessed: 20.05.2025).
3. Romaniuk V. et al. Features of the work of continuous perforated beams near intermediate supports // *Procedia Structural Integrity*. Elsevier B.V., 2024. Vol. 59. P. 471–478.
4. Pidgurskyi M. et al. Peculiarities of studying the stress-strain state of structural steel perforated beams using the finite element // *Sci. J. TNTU*. 2023. Vol. 111, № 3. P. 126–138.
5. Kolisnyk M., Iasnii V., Gomon S. Modeling of the deformation impact of the main structure framework on the stress and strain state of its individual parts // *Sci. J. TNTU*. 2022. Vol. 105. P. 141–147.
6. Kolisnyk M. et al. 3D modeling of grain unloading station steel structure based on bim technology // *Sci. J. Ternopil Natl. Tech. Univ.* 2024. Vol. 114. P. 141–148.
7. Moore E., Wald F. Design of Structural Connections to Eurocode 3 – Frequently Asked Questions. 2008. 140 p.
8. Kanvinde A.M., Gregory G., Deierlein P.E. Recent research on column base connections // *NASCC: The Steel Conferenc.* 2011. P. 1–3.
9. Gomez I. et al. Shear transfer in exposed column base plates. 2009. 159 p.
10. Cook R.A. et al. Design guide for steel-to-concrete connections. 1989.
11. DAVID A., AMIT M. Embedded column base connections subjected to flexure and axial load: tests and strength models [Electronic resource] //

<https://www.aisc.org/globalassets/aisc/research-library/embedded-column-base-connections-grilli-and-kanvinde.pdf>. 2015. P. 1–83.

12. Inamasu H., Lignos D.G. Seismic performance of steel columns interacting with embedded column bases while exhibiting inelastic deformations // Eng. Struct. Elsevier Ltd, 2022. Vol. 251.

13. ДСТУ EN 1992-4:2022 Єврокод 2. Проектування бетонних конструкцій. Частина 4. Проектування кріплень для використання в бетоні (EN 1992-4:2018, IDT) // https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=113749.

14. <https://www.ideastatica.com/support-center/check-of-anchors-according-to-eurocode> [Electronic resource]. URL: <https://www.ideastatica.com/support-center/check-of-anchors-according-to-eurocode>.

15. Staşcov M., Venghiac V., Luca S.G. Nonlinear FEM analysis of steel beam-to-column connections with extended end plate // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 586. 2019. P. 012026.

16. Kinnunen J. ETA Tests and Design of HPKM Column Shoe Connections // Procedia Engineering. Elsevier Ltd, 2017. Vol. 172. P. 521–528.

17. ДСТУ 8541:2015 Прокат сталевий підвищеної міцності. Технічні умови.

18. НПАОП 0.00-1.80-18 Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання.

19. ВДОП 6.1.36-5.11-96. Інструкція з охорони праці під час виконання робіт з монтажу металевих і залізобетонних конструкцій. загальні вимоги безпеки.

20. ДСТУ Б В.2.8-43:2011 Огородження інвентарні будівельних майданчиків та ділянок виконання будівельно-монтажних робіт. Технічні умови (ГОСТ 23407-78, MOD).

21. ОСТ 6-28-012-86 Роботи вантажно-розвантажувальні. Загальні вимоги безпеки (НПАОП 63.11-7.01-86).

22. ДБН А.3.2-2-2009 Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення (НПАОП 45.2-7.02-12).