

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

“Допустити до захисту”

Завідувач кафедри БДМБ, канд. техн. наук, професор

_____ Владислав НАСТОЯЩИЙ

" ____ " _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

**" Обґрунтування оптимальних параметрів кутових анкерних упорів у
монолітних перекриттях "**

Виконав: здобувач групи БІ-23М-2
спеціальності 192

“Будівництво та цивільна інженерія”

_____ Юрій Литвин

" ____ " _____ 2024 р.

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи:
канд. техн. наук, доцент

_____ Володимир ЯЦУН

" ____ " _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 рік

Центральноукраїнський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра, циклова комісія Будівельних, дорожніх машин і будівництва

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової комісії

к.т.н. проф. Настоящий В.А.

“ ” 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Литвину Юрію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Обґрунтування оптимальних параметрів кутових анкерних упорів у монолітних
перекриттях

керівник проекту (роботи) доцент Яцун В.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ” 2024 р. №

2. Строк подання студентом роботи “ 1 ” січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

Об'єкт дослідження - монолітні сталезалізобетонні балкові перекриття, що влаштовуються по знімній і незнімній опалубці із профільованого настилу з конструкцією об'єднання на кутових анкерних упорах, що закріплюються дюбелями-цвяхами.

Предмет дослідження - напружено-деформований стан конструкції здвигового з'єднання сталезалізобетонного перекриття на кутових анкерних упорах.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Науково-дослідницький розділ. 2. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Мультимедійна презентація, 20 аркушів (A4).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Науково-дослідницький	доцент Яцун В.В.		
Охорона праці	доцент Скриннік І.О.		

7. Дата видачі завдання 2.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження стану питання	10.09.-15.09.2024	
2	Створення методики проведення випробувань	15.09.-20.09.2024	
3	Проведення натурного експерименту	20.09.-25.09.2024	
4	Аналіз отриманих даних	25.09.-15.10.2024	
5	Розробка заходів з охорони праці	15.10.-18.10.2024	
6	Оформлення альбому документів	18.10.-20.11.2024	

Студент

(підпис)

Литвин Ю.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Яцун В.В.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Проведені дослідження напружено-деформованого стану кутових анкерних упорів, що включають в себе випробування кутових анкерних упорів у складі фрагментів сталезалізобетонних перекриттів, влаштованих по знімній і незнімній опалубці із профільованих настилів, чисельне моделювання роботи упору й чисельне моделювання сталезалізобетонного балкового перекриття. Виконане чисельне моделювання роботи сталезалізобетонного перекриття, з гнучкими кутовими упорами. Розроблені пропозиції з удосконалювання методики розрахунків і проектування сталезалізобетонних перекриттів з врахуванням податливості кутових анкерних упорів.

Annotation

Studies of the stress-deformation state of corner anchor stops have been carried out, which include tests of corner anchor stops in the composition of fragments of reinforced concrete floors arranged on removable and fixed formwork from profiled decks, numerical modeling of the operation of the stop and numerical modeling of a steel reinforced concrete beam floor. Numerical modeling of the operation of a steel-reinforced concrete floor with flexible corner stops was carried out. Proposals for improving the methodology of calculations and design of steel-reinforced concrete floors, taking into account the flexibility of corner anchor stops, have been developed.

Вступ

Більша частина вітчизняних досліджень розглядає анкерні упори як додатковий елемент, що забезпечує включення профільованого настилу в спільну роботу із залізобетонною плитою, що дозволяє враховувати настил як зовнішнє армування. Однак питання забезпечення спільної роботи залізобетонної плити з опорними сталевими балками за рахунок застосування анкерних упорів вивчено недостатньо.

Більшість досліджень, присвячених вивченню сталезалізобетонних балкових перекриттів з монолітними плитами, влаштованими по незнімній опалубці із профільованого настилу, у якості конструкції об'єднання розглядають анкерні упори у вигляді приварних стрижнів круглого перетину. Сталезалізобетонні перекриття з анкерними упорами інших типів (зокрема, упорів, що закріплюються за допомогою дюбелів) у нашій країні практично не досліджувалися. Із цієї причини методика розрахунків сталезалізобетонних перекриттів, застосовувана в Україні, не враховує особливостей роботи таких анкерних упорів у складі комбінованої конструкції.

					КАУ 24. ПЗ			
Зм	Лист	№ документа	Підпис	Дата	Обґрунтування оптимальних параметрів кутових анкерних упорів у монолітних перекриттях	Літ.	Лист	Листів
Розробив	Литвин					М	1	
Перевірив	Яцун							
Н. контр.	Дарієнко					ЦНТУ Гр. БІ-23М-2		
Затвердив.	Настоящий							

1. Постановка проблеми

Серед закордонних досліджень, присвячених вивченню силових і деформативних властивостей упорів, що закріплюються за допомогою дюбелів, варто відзначити роботи Кризинела М., Кульманна У., Эгерта Ф..

Через вищесказане існує необхідність у проведенні дослідження міцності й деформативності кутових анкерних упорів, що закріплюються за допомогою дюбель цвяхів, у монолітних сталезалізобетонних перекриттях із плитами, що влаштовуються по незнімній опалубці у вигляді сталевого профільованого настилу з наступним удосконалюванням існуючої методики розрахунків.

Науково-технічна гіпотеза полягає в припущенні, що кутові анкерні упори, застосовувані в якості конструкції об'єднання сталезалізобетонних балкових перекриттів, зберігають несучу здатність при значних пластичних деформаціях і можуть вважатися податливими при розрахунках сталезалізобетонних перекриттів.

Метою роботи є оцінка напружено-деформованого стану (НДС) кутових анкерних упорів з наступним удосконалюванням методики їх розрахунків і проектування в складі сталезалізобетонних балкових перекриттів.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні завдання:

виконаний аналіз вітчизняних і закордонних досліджень сталезалізобетонних перекриттів з конструкцією об'єднання на анкерних упорах різних конфігурацій;

підготовлене теоретичне обґрунтування для врахування податливості упорів при розрахунках конструкції об'єднання й впливу геометричних характеристик сталевого профільованого настилу на їхню міцність і деформативність;

розроблена програма експериментальних досліджень роботи кутових анкерних упорів, що включає в себе вибір методики випробувань і розробку методики оцінки результатів випробувань;

проведені дослідження НДС кутових анкерних упорів, що включають в себе випробування кутових анкерних упорів у складі фрагментів сталезалізобетонних перекриттів, влаштованих по знімній і незнімній опалубці із

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

профільованих настилів, чисельне моделювання роботи опору й чисельне моделювання сталезалізобетонного балкового перекриття;

виконане чисельне моделювання роботи сталезалізобетонного перекриття, з гнучкими кутовими упорами;

розроблені пропозиції з удосконалювання методики розрахунків і проектування сталезалізобетонних перекриттів з врахуванням податливості кутових анкерних упорів;

розроблена програма для ЕОМ, що дозволяє виконувати попередні розрахунки конструкції об'єднання за запропонованою методикою.

Об'єктом дослідження є монолітні сталезалізобетонні балкові перекриття, що влаштовуються по знімній і незнімній опалубці із профільованого настилу з конструкцією об'єднання на кутових анкерних упорах, що закріплюються дюбелями-цвяхами.

Предметом дослідження є напружено-деформований стан конструкції здвигового з'єднання сталезалізобетонного перекриття на кутових анкерних упорах.

Наукову новизну роботи становлять:

експериментальні дані по несучій здатності й коефіцієнтам твердості для конструкції об'єднання монолітних сталезалізобетонних перекриттів у вигляді кутових анкерних упорів, влаштованих по знімній і незнімній опалубці у вигляді сталевого профільованого настилу;

методика моделювання конструкції об'єднання на кутових анкерних упорах дюбелів, методом кінцевих елементів;

аналіз напружено-деформованого стану кутових анкерних упорів у балкових перекриттях, улаштованих по знімній і незнімній опалубці із профільованого настилу різної конфігурації;

залежність несучої здатності й деформативності кутових анкерних упорів від геометричних характеристик профільованого настилу й конструктивних особливостей розміщення упорів усередині гофр настилу, виражена через коефіцієнт редукції *kt*.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Практична значимість роботи:

визначається можливістю використання розробленої програми для ЕОМ з розрахунку монолітних сталезалізобетонних перекриттів, об'єднаних кутовими анкерними упорами за запропонованою методикою;

визначається розробленими практичними рекомендаціями із проектування сталезалізобетонних перекриттів з монолітними плитами, влаштованими по незнімній опалубці із профільованого настилу, із застосуванням кутових анкерних упорів, що закріплюються дюбель-цвяхами в якості конструкції об'єднання.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Особливості роботи сталезалізобетонних конструкцій

Згідно із класифікацією конструкції, виконані з монолітного або збірного залізобетону, конструкційної сталі й/або профільованого настилу, у яких забезпечена їхня спільна робота, є сталезалізобетонними. У науково-технічній літературі також широко розповсюджений термін «комбіновані конструкції». По характеру сприйманих навантажень такі конструкції діляться на гнучкі й стисливі. До конструкцій, що гнуться, ставляться комбіновані плити й комбіновані балки. До стислих конструкцій ставляться монолітні залізобетонні трубобетонні колони й монолітні залізобетонні колони з твердою арматурою, виконаної зі сталевих прокатних профілів. Комбінована плита являє собою монолітну залізобетонну конструкцію, влаштовану по сталевому профільованому настилу, який відіграє роль зовнішнього армування й незнімної опалубки. За рахунок розкріплення профільованого настилу таке перекриття утворює горизонтальний диск, що забезпечує просторову роботу каркаса за рахунок своєї твердості, і дозволяє зменшити число зв'язків у каркасі, що створює більшу вільність об'ємно-планувальних розв'язків. Анкерівка профільованого настилу до бетону може здійснюватися за рахунок геометрії профілю (рисунк 1.1 а), просічок і виштамповок на поверхні настилу (рисунк 1.1 б-в), або за рахунок додаткових анкеруючих елементів, що приварюються за допомогою контактного зварювання до поверхні настилу до бетонування плити (рисунк 1.1 г-е).

Перші дослідження роботи залізобетонних елементів з листовим армуванням належать Г.І. Бердичівському, І.К. Стрелецькому, І.І. Панаріну, Р.В. Воронкову й Ф.Е. Клименко. Після організації в 1968 р. масового виробництва гладкостієвих холодногнутих оцинкованих профільованих настилів, був помітний ріст числа досліджень композитних конструкцій, улаштованих по профільованому настилу із включенням його в роботу як зовнішнє армування монолітних плит. При такому використанні профільованого настилу проектувальники й будівельники зустрічаються із трьома проблемами: несуча

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здатність профільованого настилу, забезпечення достатнього зчеплення аркуша з бетоном і його вогнезахист.

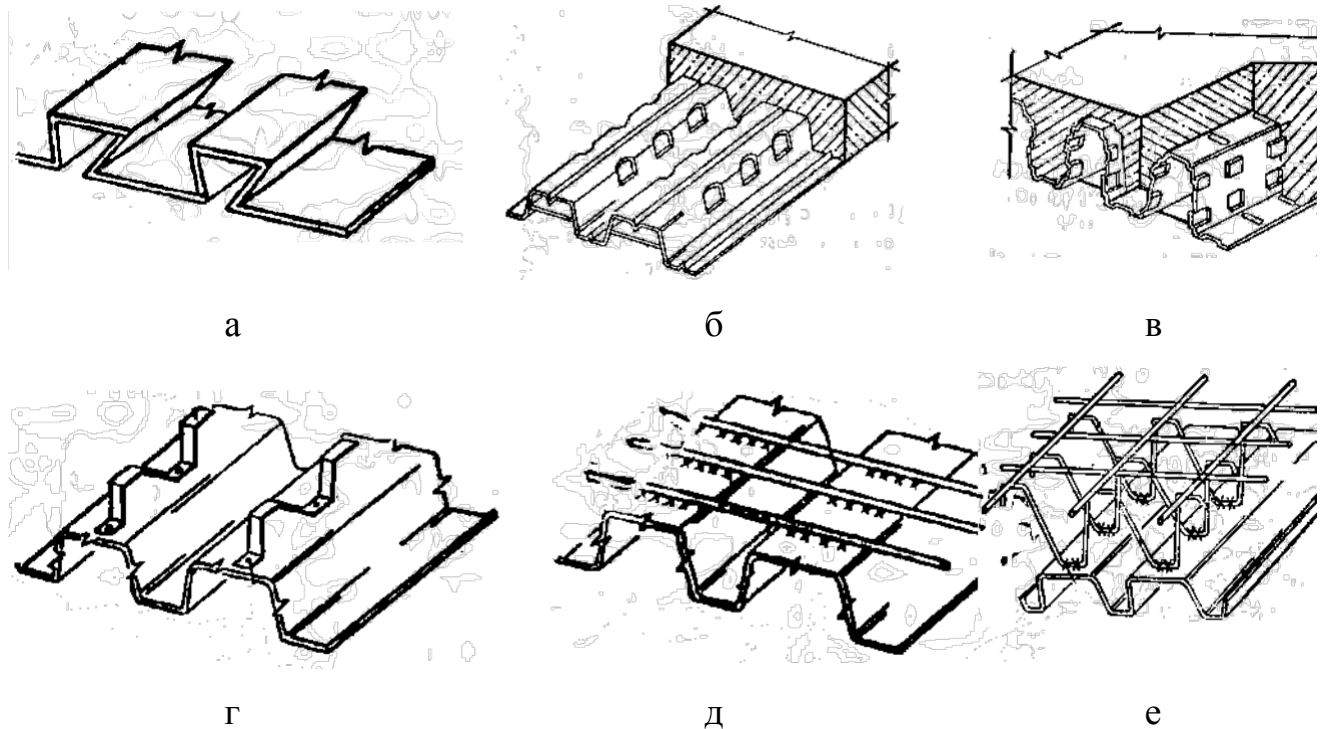


Рисунок 1.1 – Способи анкеровки сталевго профільованого настилу до монолітної залізобетонної плити

В.Л. Жулідов досліджував роботу монолітних залізобетонних плит, влаштованих по профільованому настилу в якості незнімної опалубки на дію місцевого зосередженого навантаження. Для забезпечення спільної роботи бетону й сталевго настилу було запропоновано використовувати приварку горизонтальних стрижнів до верхніх полиць настилу в напрямку поперек гофр. Одним з результатів дослідження з'явилася розрахункова формула для визначення зсувних зусиль у плиті, відповідна до першої групи граничних станів. На підставі висновків з даної роботи були випущені «Рекомендації», які були прийняті різними інститутами для проектування нових цивільних і промислових об'єктів.

Особливий інтерес представляють роботи, у яких досліджувалися різні способи забезпечення зчеплення профільованого настилу з бетоном. Відомо, що зчеплення між будь-яким видом армування й бетоном носить складний характер і

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складається із трьох компонентів: механічного зачеплення матеріалів; сили тертя, що виникає на поверхні арматур внаслідок усадки бетонної суміші й склеювання завдяки колоїдній масі цементного тісту. Перераховані фактори важко піддаються поділу в процесі експерименту, тому, як правило, оцінюються в сукупності. Експериментальними дослідженнями сил зчеплення профільованого настилу з бетоном присвячені роботи Б.П. Маркова, Ю.С. Мартинова, Дж. О. Бройсона. За результатами проведених досліджень можна зробити вивід, що використання упорів для об'єднання балок дозволяє значно збільшати їхній опір зрушенню на контакті «сталь - бетон». Зокрема, у порівнянні з балками, не об'єднаними упорами й сприймаючими зсувні зусилля за рахунок сили тертя бетону по сталі, комбіновані балки, показали в 4-5 раз більший опір зрушенню по контактному шву.

І.В. Санніков досліджував механізми руйнування монолітних залізобетонних плит, армованих профлістом при поперечному вигині. У якості анкеруючих зв'язків застосовувалися стрижні Ø3-4 мм, приварені до поверхні профлиста точковим зварюванням. В.Б. Сергєєв разом з Ю.С. Мартиновим досліджували способи анкерівки профільованого аркуша в бетонних плитах перекриттів стрічковими зв'язками, виготовленими зі смуг сталевих профільованого настилу.

Багато заводів профільованих настилів освоїли випуск настилу Н 80А-674-1,0 з рифленими стінками гофр. А.А. Кваша досліджував роботу монолітних залізобетонних плит, у яких у якості зовнішньої арматури застосовувався даний профільований настил. Великий практичний внесок у розвиток методики розрахунків комбінованих плит внесли Є.Л. Айрумян і А.Г. Тамразян.

Незважаючи на достатню вивченість даного питання й існування апробованих методик, у наш час несуча здатність профільованого аркуша, армуючого перекриття, як правило не враховується через складності в забезпеченні його вогнезахисту. Таким чином, єдиним відносно розповсюдженим у реальній практиці видом комбінованої конструкції є сталезалізобетона балка.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

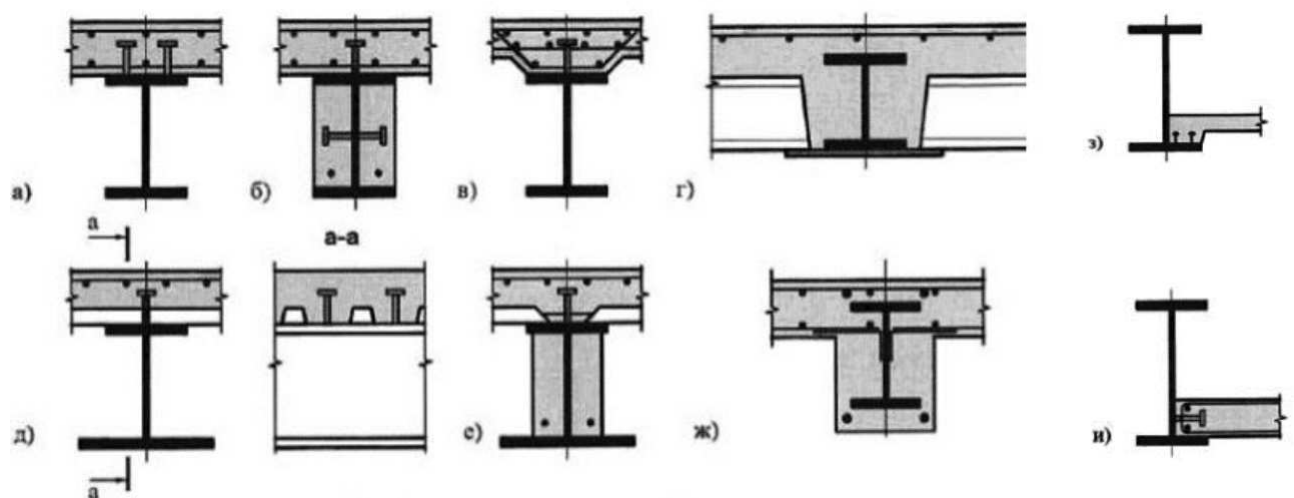
Сталезалізобетоне балкове перекриття складається із залізобетонної плити (як правило, монолітної, рідше – збірної) і сталеві балки, які утворюють єдиний складений перетин за рахунок об'єднання анкерними упорами, або за допомогою оббетонування сталеві балки. При проектуванні сталезалізобетонних балок можливі три типи компоновки поперечного переріза:

залізобетонна плита розташовується в переважно стислій, сталеві балка в переважно розтягнутій зонах (рисунк 2 е) - найбільш раціональний і розповсюджений підвид композитної балки. Відома конструкція сталезалізобетонної балки, улаштованої без застосування анкерних упорів, спільна робота в якій забезпечується за рахунок часткового оббетонування верхньої полиці сталеві перетину із застосуванням арматурних замків;

сталезалізобетонні балки з оббетонуванням сталеві профілем, граючим роль твердої арматури (рисунк 2 б, г, е, ж). Застосовуються переважно в будинках і спорудах з більшими прольотами й експлуатаційними навантаженнями;

залізобетонна плита розташовується в розтягнутій зоні (рисунк 2 з, і).

Зустрічається в деяких типах житлових і адміністративних будинків, де подібне компоновка перетину, обумовлене архітектурними й естетичними вимогами.¹⁷



Рисунк 2 – Типи компоновки перетину комбінованих балок

					КАУ 24. ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

При вигині балки в її перетині виникають дотичні напруження, що діють перпендикулярно поперечному перерізу. Якщо на комбіновану балку діє значне навантаження, ці напруги не можуть бути компенсовані силою тертя між плитою й сталевим профілем. У цьому випадку дотичні напруження можуть привести до переміщення плити щодо сталевої балки. Величина граничного зчеплення бетонної плити зі сталевою балкою без застосування спеціальних засобів становить усього 9-12 кг/см². Для того, щоб зробити так, щоб різнорідні матеріали поводитися узгоджено, об'єднавчі елементи (анкерні упори) різних конфігурацій установлюють на верхній полиці сталевої балки. Це дозволяє компенсувати виникаючу на границі двох матеріалів силу й забезпечити їхню спільну роботу (рисунк 3). Присутність анкерних упорів у контактному шві підвищує зчеплення сталі й бетону до 42-46 кг/см², незалежно від класу міцності бетону.

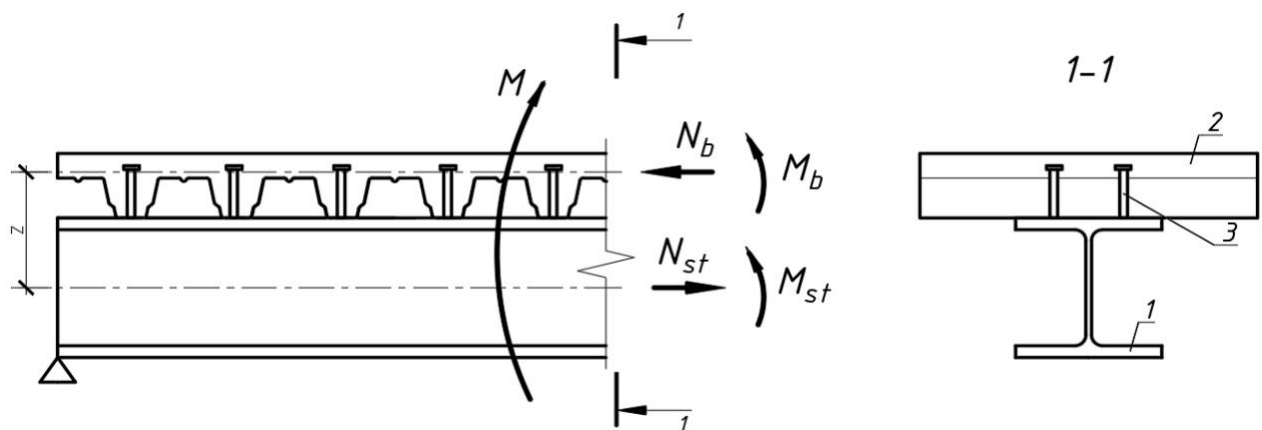


Рисунок 3 – Схема розподілу зусиль у комбінованій балці при вигині:

1 – сталева балка; 2 - залізобетонна плита; 3 – анкерні упори.

M – згинальний момент від навантаження; M_b – момент у плиті; M_{st} – момент у сталевій балці; N_b – поздовжня сила в бетоні; N_{st} – поздовжня сила в сталевій балці; z – плече пари сил.

Проведені експерименти показали, що при однократному статичному навантаженні зчеплення в зоні контакту «сталь - бетон» порушується до настання граничного стану упорів. При повторних статичних і квазістатичних навантаженнях зчеплення порівняно швидко порушується, після чого зусилля

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зрушення передаються практично тільки через анкерні упори. По цій причині проектування сталезалізобетонної конструкції перекриття без анкерних упорів вважається недоцільним.

Анкерні упори можуть бути класифіковані по декільком ознакам, включаючи їх геометричні характеристики, спосіб монтажу й піддатливість.

Піддатливість характеризує припустиму деформацію анкерного упору при впливі зсувного навантаження. Згідно із класифікацією EN1994-1, анкерний упор вважається податливим, якщо його деформація, обмірювана під час спеціальних випробувань на рівні нормативного опору упору зрушенню, перевищує 6 мм. Якщо при конструктивна деформативність упору обмежена, він вважається твердим.

По геометричних характеристиках анкерні упори підрозділяються на упори у вигляді стрижнів (рисунок 4 а), швелерів (рисунок 4 б), куточків (рисунок 4 в), петель (рисунок 4 г), «вусів» (рисунок 4 д) і т.д. [32].

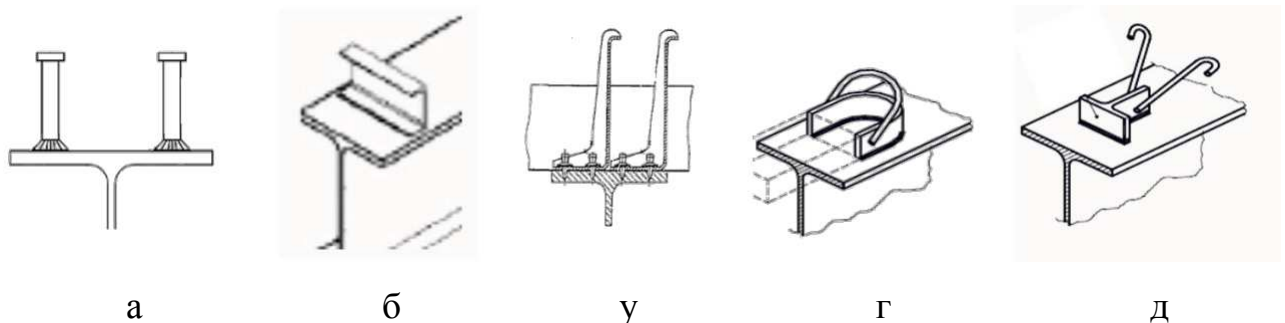


Рисунок 4 – Типи анкерних упорів

По способу монтажу анкерні упори підрозділяються на приварні й установлювані за допомогою порохових монтажних пістолетів.

Анкерні упори можуть бути приварені як у процесі виробництва металоконструкцій у заводських умовах, так і безпосередньо на будівельному майданчику. При провадженні робіт на будівельному майданчику найбільше часто застосовують ручне або напівавтоматичне електродугове зварювання.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В 1930-х роках у Швейцарії була розроблена балкова система «Альфа», яка являла собою сталеві двотаврові балки, до верхнього пояса яких у заводських умовах приварювалися сталеві спіралі (рисунк 5).

В 50-х роках ХХ століття у ряді європейських країн для цього завдання застосовувалися петльові похилі й вертикальні анкери, які могли доповнюватися шматками квадратної сталі. Після 60-х рр. намітилася тенденція перехід до конструкцій об'єднання у вигляді високоміцних болтів або стрижнів, у силу найбільшої простоти в їхнім виготовленні.

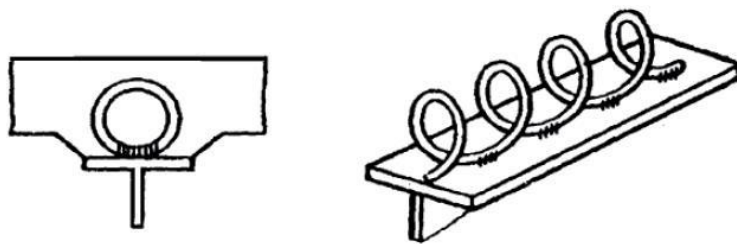


Рисунок 5 – Об'єднання залізобетону й стали в балках системи «Альфа»

У різні роки були випробувані різні види приварних об'єднувачих конструкцій. Б.П. Марков в 1954-1955 роки займався дослідженням роботи твердих упорів із прокатних куточків і гнучких упорів у вигляді приварних петель [40]. У 1958-59 роках були досліджені зразки дугоподібними й двухстінчатими упорами.

1947 року американець Т. Нельсон запатентував метод дугової приварки стрижнів із захистом флюсовим кільцем. Черід-Болти (болти Нельсона), круглі стрижні зі сталевим капелюшком, у наслідку стали промисловим стандартом у мостовому, цивільному й промисловому будівництві в багатьох країнах (рисунк 1.6). Популярність цього методу в США і країнах Євросоюзу обумовлена високою технологічністю виробничого процесу й можливістю здійснювати приварку безпосередньо через профільований настил. Процес приварки здійснюється в такий спосіб: черід-болт із керамічним кільцем установлюється на фланець металевої конструкції (рисунк 7 а). Після цього за рахунок зварювального пістолета відбувається підйом черід-болта й запалювання електричної дуги (рисунк 7 б). Торець елемента, що приварюється, і поверхня базового матеріалу

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розплавляються. Якщо у конструкції як незнімної опалубки застосовується профільований настил, у місці приварки утворюється акуратний отвір (рисунок 7в). При досягненні необхідної температури елементів, що зварюються, відбувається занурення торця черід-болта у зварювальну ванну, після чого відбувається відключення струму (рисунок 7 г). При остиганні звареного шва відбувається кристалізація з'єднання (рисунок 7 д). Після закінчення монтажу керамічне кільце віддаляється вручну. Даний спосіб влаштування конструкції об'єднання також застосовується в Україні, однак уступає по популярності приварним упором із чорного металу через потребу в спеціалізованому зварювальному встаткуванні й кваліфікованому зварнику.



Рисунок 6 Загальний вид черід-болтів фірми Нельсон

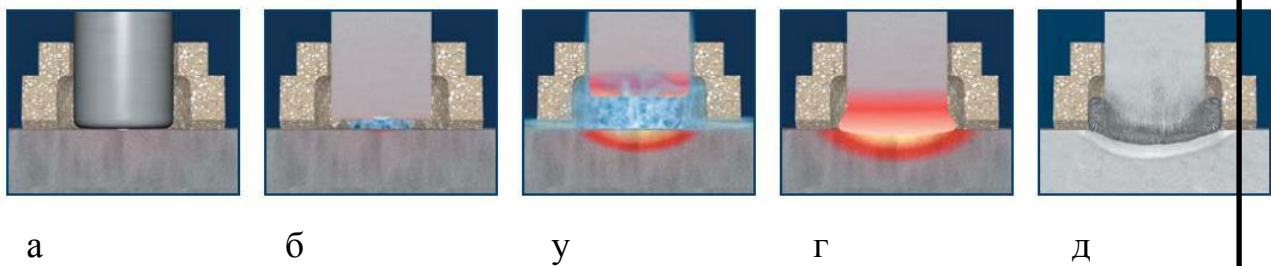


Рисунок 7 Процес напівавтоматичної дугової приварки черід-болтів

В 1957 році в Ліхтенштейні компанією Hilti був розроблений перший у світі пороховий монтажний пістолет, що дозволяє здійснювати кріплення різних конструктивних елементів до бетону, сталі, кам'яної кладки й іншим будівельним матеріалам за допомогою сталевих дюбелів-цвяхів. Розбудовуючи дану технологію, на початку 1980-х років компанія представила на ринок кутикові

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

анкерні упори X-HVB, що прикріплюються до сталевій основі пороховим монтажним пістолетом за допомогою двох дюбель-цвяхів (рисунок 8). Дюбель-цвях проникає в базовий матеріал за рахунок значної (до 900 Дж) кінетичної енергії пострілу, викликаючи його ущільнення навколо кріпильного елемента. Дюбель-цвях тримається в сталі за рахунок тертя, обтиснення й спікання вістря дюбель-цвяха з базовим матеріалом (рисунок 9). Кутикові упори X-HVB можуть застосовуватися для влаштування сталезалізобетонних балкових перекриттів по знімній опалубці або по незнімній у вигляді сталевого профільованого настилу товщиною до 2,0 мм. Аналогічна система була представлена італійською фірмою Теспагіа: анкерний упор круглого перетину, закріплений на опорній пластині, через яку здійснюється кріплення анкерного упору дюбель-цвяхами (рисунок 10).



Рисунок 8 – Загальний вид кутових упорів Hilti X-HVB

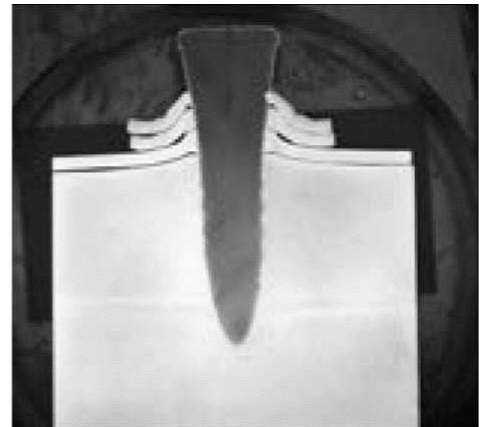


Рисунок 9 – Дюбель-Цвях Hilti X-ENP 21 у розрізі, установлений в сталеву основу за допомогою монтажного пістолету

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 10 – Загальний вид анкерного упору Tecnaria CTF Connector

На початку 2000-х рр. у Швейцарії був розроблений і випробуваний новий вид упорів, монтиємих за допомогою порохового монтажного пістолета, виготовлених з тонких холодногнутих аркушів, що також прикріплюються до сталевій основи за допомогою порохового монтажного пістолета, який, однак, широкого комерційного поширення не одержав. Популярність методів установки анкерних упорів за допомогою техніки прямого монтажу обумовлена більш високою продуктивністю в порівнянні зі зварюванням за рахунок скорочення часу на підготовку й настроювання встаткування, його заземлення, додаткового кріплення профільованого настилу самонарізаючими гвинтами й контроль якості.

Також відомий спосіб пристрою болтових анкерних упорів, що прикріплюються до верхньої полиці сталевій балки за допомогою гайок (рисунок 11) або спеціальних скоб. Застосування даного типу об'єднавчих деталей разом із плитами перекриття зі збірного залізобетону дозволяє мінімізувати мокрі процеси при провадженні робіт і тим самим скоротити строки зведення будинку. Незважаючи на це й ряд інших гідностей, даний спосіб у практиці промислового й цивільного будівництва широкого поширення не одержав.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

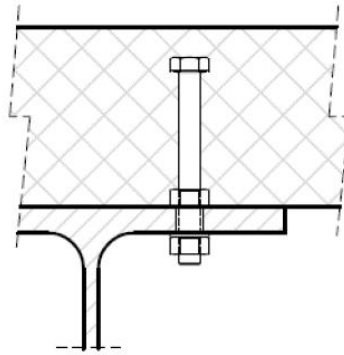


Рисунок 11 – Загальний вид болтового анкерного упору

Розрахунки об'єднаних елементів комбінованої балки містить у собі їх перевірку за міцністю при впливі сили, що зрушує, і перевірку міцності кріплення упору до сталевій основи (міцність звареного шва або дюбель-цвяхів на зріз, залежно від виду застосовуваної технології). При розрахунках по міцності на зрушення необхідно визначити ефективну ширину залізобетонного перетину. Потім визначаються геометричні характеристики розрахункового перетину з урахуванням ефективної ширини. Завдяки цьому, ми можемо визначити внутрішні напруження в сталевій балці, бетоні й арматурі, а також визначити величину сили, що зрушує, на рівні шва об'єднання. По епюрі сил, що зрушують, підбирається необхідна кількість анкерних упорів, розташовуваних уздовж балки. При цьому, як правило, проводиться перевірка міцності самих упорів по сталі, з якої упор виготовлений, і по бетону – найменше з них використовується при перевірці опору з'єднання зрушенню.

У сталевих залізобетонних балках із плитами, улаштованими по плоскій знімній опалубці, анкерні упори зазнають складного деформуємого стану, пов'язаного з вигином анкерного упору й зминанням бетону.

Характер роботи стрижневого або кутикового упору може бути описаний за допомогою моделі Г. Лунгера (рис. 12). Вважається, що інтенсивність зусиль, що зрушують, при вигині перекриття розподіляться по бетону уздовж упору нерівномірно, і більша їхня частина доводиться в зону в основі упору (А) під невеликим кутом. Концентрація напруг у цій зоні приводить до локального руйнування бетону, що у свою чергу викликає перерозподіл зусиль уздовж іншої частини упору (В). У той час як верхня частина упору залишається як би

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заанкерованою в іншій частині бетонної плити, його нижня частина переміщається, викликаючи згинаючі й розтяжні зусилля в тілі упору (С). У результаті головка упору викликає опорну реакцію в стислій зоні плити, що у свою чергу чинить додатковий опір упору зрушенню за рахунок сил тертя в зоні між плитою й сталеву балкою (D). У випадках, якщо бетон виявляється досить міцним, конструкція об'єднання у вигляді черід-болтів або кутових упорів показують певну пластичність і руйнується в результаті зрізу упору по сталі в основі.

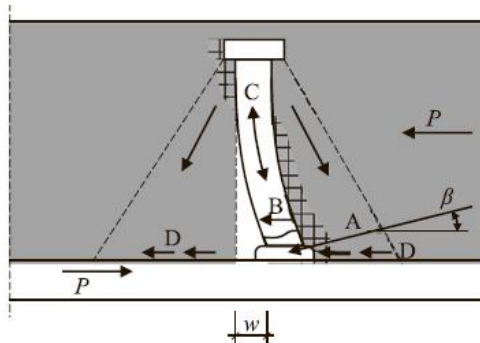


Рисунок 12 – Модель Лунгерсхаузена для опису НДС стрижневого анкерного упору в складі сталезалізобетонного перекриття із плитою, влаштованою по плоскій опалубці

При влаштуванні сталезалізобетонних балкових перекриттів по незнімній опалубці у вигляді профільованого настилу, характер роботи анкерних упорів залежить від геометрії бетонних ребер, утворених гофрами настилу. У загальному випадку, при розміщенні анкерного упору в ребрі відбувається передчасне руйнування бетону в основі упору. Це підвищує величину згинаючих зусиль, що впливають на упор (В и С), що в остаточному підсумку знижує опір упорів зрушенню (P_1 на рисунку 13). Якщо упори мають високу пластичність, виникає додаткове стискальне зусилля в стислій зоні бетонної плити, передане через головку упору, про що свідчить друге пікове значення на деяких графіках «навантаження-деформація» (P_2 на рисунку 13). Це приводить до руйнування бетону по конусу навколо упору або, в окремих випадках, розривши упори по поперечному перерізу. Модель Г. Лунгерсхаузена не була оцифрована, але одержала свій розвиток у ряді досліджень роботи черід-болтів.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

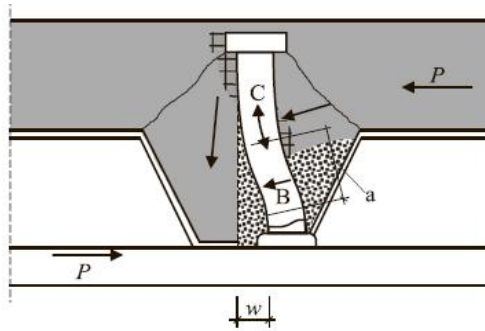


Рисунок 13 – Модель Лунгерсхаузена для опису НДС стрижневого анкерного упору в складі сталезалізобетонного перекриття із плитою, влаштованою по незнімній опалубці зі сталевго профільованого настилу

Основним недоліком моделі Г. Лунгерсхаузена вважається обмеженість області її застосування: при розгляді конструкції об'єднання сталезалізобетонного перекриття із плитою, влаштованою по профільованому настилу, вона розглядає тільки один механізм руйнування анкерного зв'язку, а саме вирив упору з бетону. Дослідження Н. Хоукінса й Д. Мітчелла одним з перших показало, що при випробуванні зразків з різними типами профільованого настилу можливі наступні механізми руйнування рухомого з'єднання: зріз анкерного упору (stud shearing), вирив з бетону (concrete pull-out), продавлювання бетонного ребра (rib pushing) (рисунок 14). Пізніше дані механізми руйнування були отримані в ряді інших досліджень.

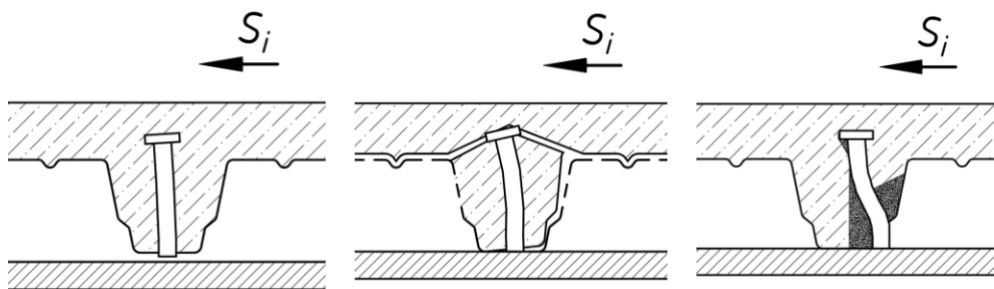


Рисунок 14 – Найбільш характерні механізми руйнування анкерних зв'язків у сталезалізобетонних балках.

а - зріз анкерного упору; б - вирив з бетону зі зрізом ребра;
в – продавлювання бетонного ребра.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У випадку застосування анкерних упорів, що закріплюються за допомогою дюбелів можливі 3 механізми руйнування: по дюбелю, по ніжці упору або по бетону, причому останній зустрічається тільки в перекриттях із плитами, улаштованими по профільованому настилу. Аналізуючи результати випробувань кутових упорів X-HVB, М. Кризинел описує 2 можливих сценарію відмови анкерного зв'язку цієї конструкції в перекритті, влаштованому по знімній опалубці: руйнування внаслідок розриву ніжки анкерного упору або руйнування дюбельного з'єднання внаслідок вириву й/або зрізу. При цьому, автор відзначає, що ймовірність настання того або іншого випадку залежить головним чином від орієнтації упору щодо вектора сили, що зрушує: якщо зусилля впливає на «фронтальну» частину упору, то зв'язок руйнується внаслідок його розриву, якому передують значні непружні деформації ніжки (рисунок 15 а). При розвороті упору на 180° сила, що зрушує, впливає на дюбелі як важіль, що приводить до вириву й/або зрізу (рисунок 15 б). У випадку, якщо упор орієнтований перпендикулярно, у якості механізму руйнування превалює вирид дюбелів (рисунок 15 в).

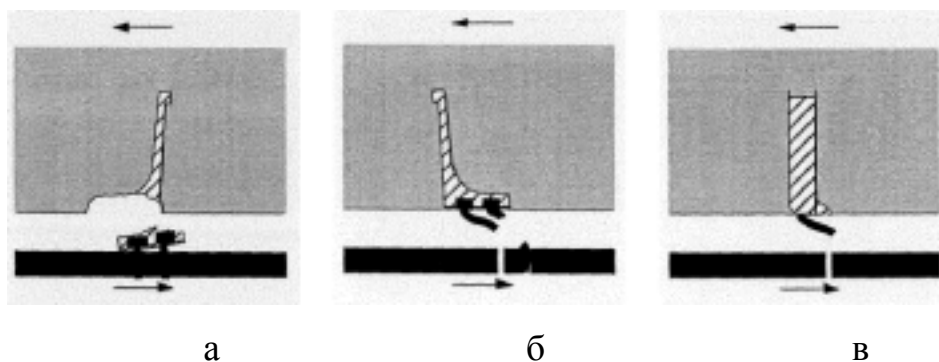


Рисунок 15 – Найбільш характерні механізми руйнування анкерних зв'язків в сталезалізобетонних балках.

а - зріз анкерного упору; б - вирид з бетону зі зрізом ребра; в - продавлювання бетонного ребра

Для кутових упорів, встановлених у плиті, влаштованої по профільованому настилу, М. Кризинел приводить механізми руйнування, аналогічні приварним анкерним упорам круглого перетину, представленим на рисунку 14.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для обліку впливу профільованого аркуша на несучу здатність упору використовують коефіцієнт редукції, який множиться на несучу здатність упору, розрахованого для плити без профільованого настилу. Цей коефіцієнт, крім геометричних характеристик гофр настилу, залежить також від того, як орієнтовані гофри щодо опорної балки. Найбільше часто зустрічається поперечна орієнтація гофр, застосовувана при укладанні настилу на другорядні балки в балковій клітці з поперечним сполученням балок. Поздовжня орієнтація настилу зустрічається в будинках зі сполученням балок в одному рівні, або в будинках з неправильною або нерегулярною геометрією.

Згідно EN 1994-1, сталезалізобетонні балкові перекриття можуть бути розраховані з обліком повного (full connection) або часткового (partial connection) об'єднання сталевих і залізобетонних частин перетину. Ідею часткового об'єднання можна пояснити в такий спосіб: у випадку, якщо між сталевим і залізобетонним частиною комбінованого перетину немає конструкції об'єднання, усе корисне навантаження уздовж осі розглянутої конструкції сприймається винятково сталевим балкою (рисунк 16). Установлюючи анкерні упори уздовж шва об'єднання, ми можемо добитися часткового (рисунк 17), або повного (рисунк 18) об'єднання.

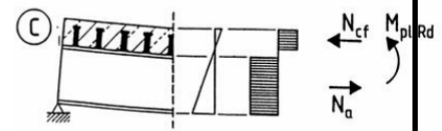
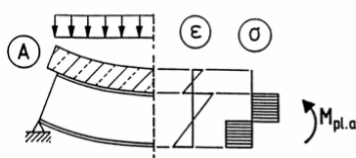


Рисунок 16 –
Конструкція
без
об'єднання

Рисунок 17 – Конструкція з
частковим об'єднанням

Рисунок 8 – Конструкція з
повним об'єднанням

При розрахунках перекриття з повним об'єднанням упори ухвалюються твердими, а переміщення плити щодо сталевих балок не допускається. Кількість

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

упорів призначається таким чином, щоб їх сумарний опір був більше або дорівнює величині сили, що зрушує, на кожній розрахунковій ділянці.

Оскільки обрис епюри сил, що зрушують, у шві об'єднання збігається з обрисами епюри поперечних сил, упори на приопорних ділянках будуть встановлюватися з меншим кроком, ніж в прольоті (рисунок 19 а). У даному розрахунковому випадку граничним станом перекриття буде вважатися досягнення граничної напруги в перетині з максимальним згинальним моментом. Даний підхід лежить в основі методики розрахунків сталезалізобетонних балкових перекриттів. За рахунок застосування повного об'єднання можна запроектувати комбіноване перекриття зі зменшеним перетином сталевих балки щодо не об'єданого або частково об'єданого сталезалізобетонного перекриття.

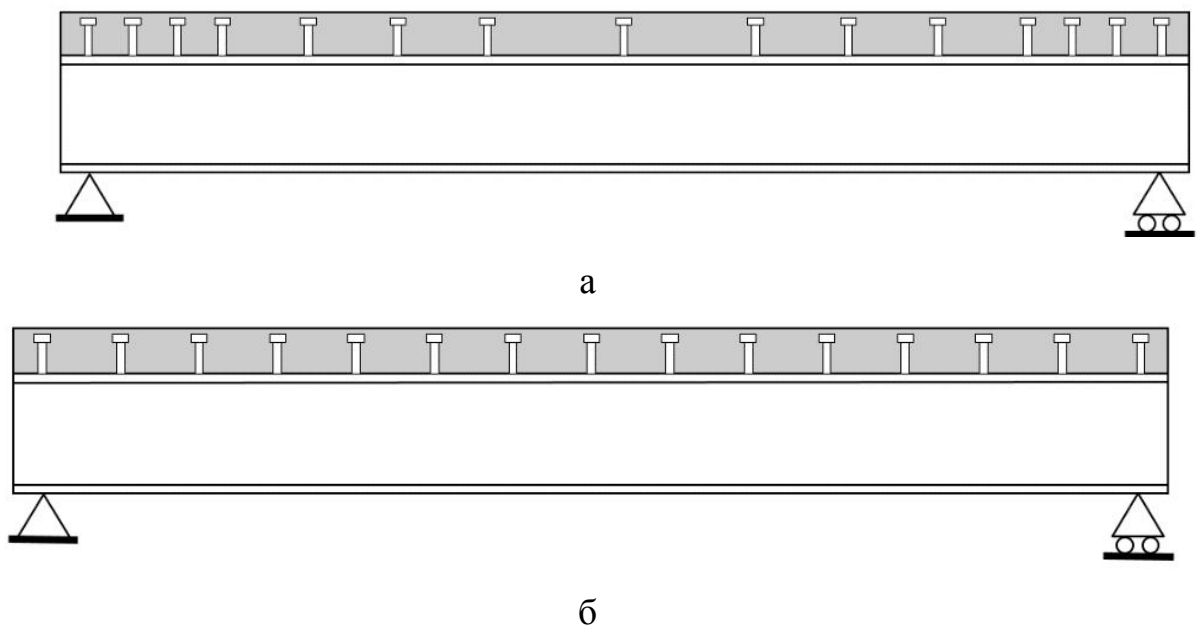


Рисунок 19 – Принципова схема розміщення анкерних упорів при повному (а) і частковому (б) об'єднанні частин сталезалізобетонного перекриття

Варто відзначити, що при істотній оптимізації металоємності опорних балок, існує ризик проектування конструкції, нездатної сприйняти вагу мокрого бетону на стадії монтажу. У цьому випадку проектувальник повинен передбачити установку тимчасових підпірок під балку. Крім складностей у монтажі, існує ризик нівелювання вигоди від зниження металоємності через витрати на покупку й монтаж анкерних упорів у кількості, необхідному для повного об'єднання. Із цієї

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

причини, проектування сталезалізобетонних балок із частковим об'єднанням застосовується в закордонній практиці так само часто, як і перекриття з повним об'єднанням, особливо в будинках і спорудах, розташованих у сейсмічно активних регіонах.

Тому необхідно провести дослідження міцності і деформативності кутових анкерних упорів, що закріплюються за допомогою-дюбель цвяхів.

3. Експериментальне дослідження міцності й деформативності кутових анкерних упорів

Згідно із проведеним аналізом у світовій практиці можна виділити два підходи до експериментального дослідження силових і деформативних властивостей конструкції об'єднання комбінованих балок: випробування повнорозмірних сталезалізобетонних перекриттів і випробування фрагментів сталезалізобетонної балки на зрушення. Через те, що метою дослідження є оцінка силових і деформативних характеристик кутових анкерних упорів у конструкціях монолітних сталезалізобетонних перекриттів, влаштованих, у тому числі, по сталевому профільованому настилу, у якості основних експериментальних зразків були обрані фрагменти сталезалізобетонних балок.

Згідно методикою, випробування кутових анкерних упорів містить у собі випробування упорів у складі фрагмента сталезалізобетонної балки на зрушення (рисунок 20), випробування дюбель-цвяха на зрушення без анкерного упору (рисунок 21), випробування дюбель-цвяха на розтягання (рисунок 22). Випробування упорів містили в собі кілька серій зразків з різними параметрами, на підставі результатів яких можуть бути отримані дані про силові і деформативні характеристики упорів. Випробування дюбель-цвяхів були допоміжними і представлені однією серією випробувань.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

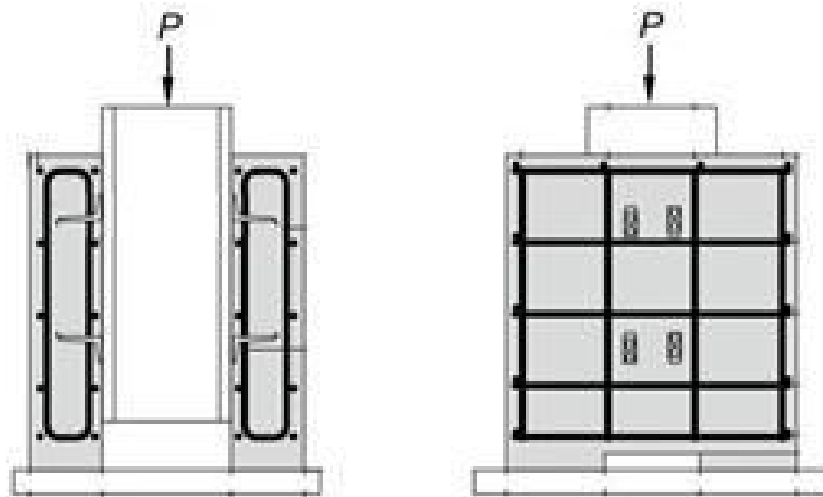


Рисунок 20 – Схема випробування фрагмента сталезалізобетоної балки на зрушення

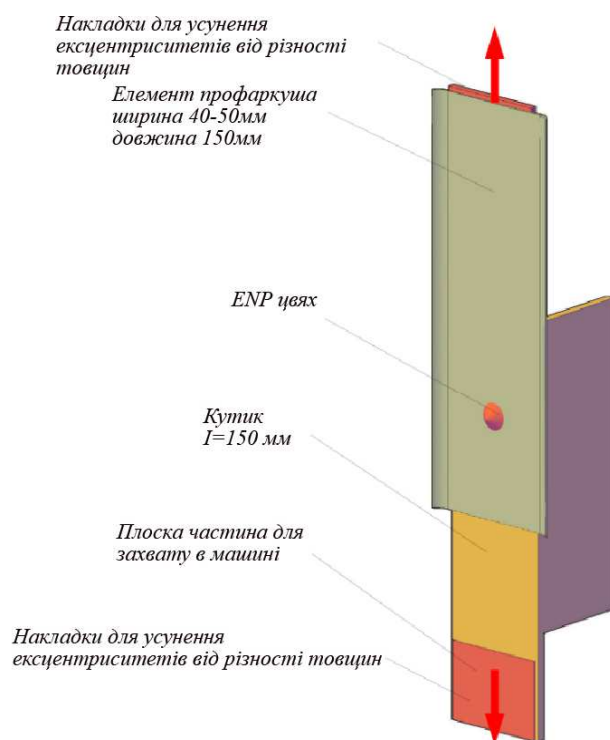


Рисунок 21 – Принципова схема випробування дюбель-цвяха на зрушення

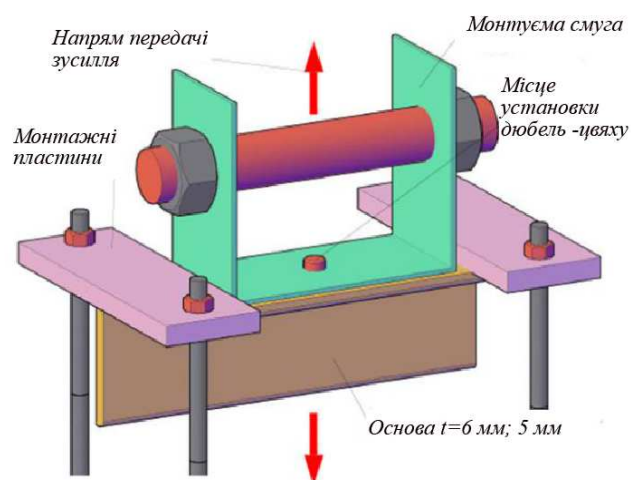


Рисунок 22 – Принципова схема випробування дюбель-цвяха на розтяг

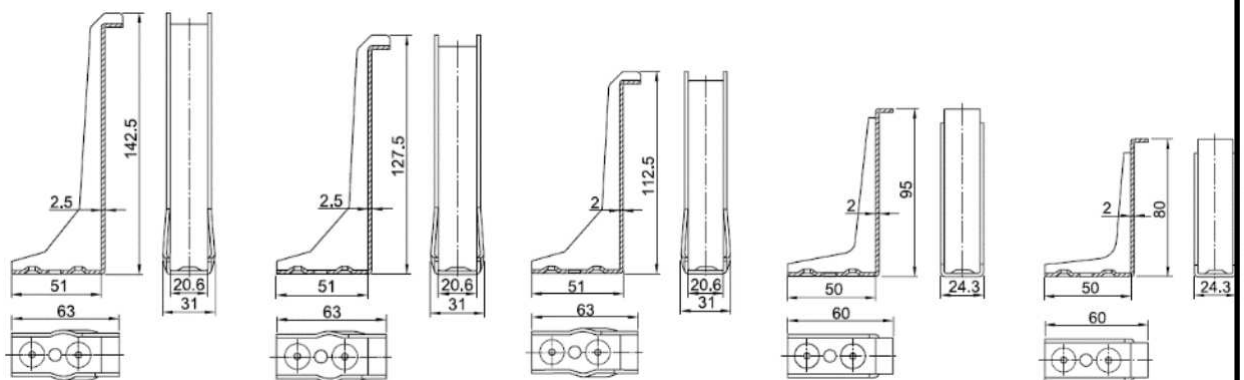
У ході випробувань фрагмента сталевий залізобетонної балки на зрушення, кутикові упори були розташовані симетрично на зовнішній поверхні полиць

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

двотавра. Кількість упорів, їх орієнтація щодо балки, крайові й осьові відстані мінялися відповідно до завдання випробування.

Одним з об'єктів дослідження були кутикові упори типу Hilti X-HVB. Упор являє собою конструктивний елемент змінної висоти. Цей елемент закріплюється до верхнього пояса сталевій балки сталезалізобетонного перекриття за допомогою двох дюбель-цвяхів Hilti типу X-ENP21 HVB. Кутикові упори X-HVB виготовляють із металевого аркуша методом холодного деформування з вуглецевої сталі $\sigma_b = 295-350 \text{ Н/мм}^2$. Кріпильні елементи Hilti типу X-ENP21 HVB виготовляються методом холодного формування з наступним гарячим куванням з вуглецевої сталі.

У рамках даного дослідження використовували упори висотою 95, 125 і 140 мм як найбільш затребувані на ринку (рисунок 23).



X-HVB 140 X-HVB 125 X-HVB 110 X-HVB 95 X-HVB 80

Рисунок 23 – Геометричні характеристики кутових анкерних упорів Hilti типу X-HVB

Кріпильні елементи Hilti типу X-ENP21 HVB (рисунок 24) являють собою стрижні з конусоподібною головкою з однієї сторони й гострим наконечником з насічками з іншої сторони для закріплення в сталі. Поставляються кріпильні елементи із двома металевими шайбами в зборі.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

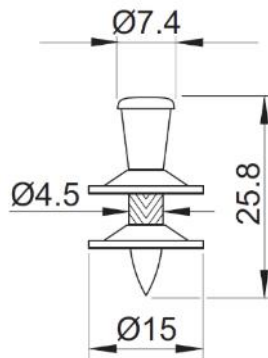


Рисунок 24 – Загальний вид елемента X-ENP 21 HVB

Елементи є кріпильними виробами прямого монтажу, установлюваними за допомогою монтажного пістолета відповідно до рекомендацій їх виготовлювача. Контроль якості установки дюбель-цвяха здійснюється шляхом виміру висоти капелюшка h_{nvs} змонтованого елемента, яка повинна перебувати в діапазоні 8,2-9,8 мм (рисунок 25). Також при правильній установці нижня шайба щільно прилягає до верхньої (рисунок 26).

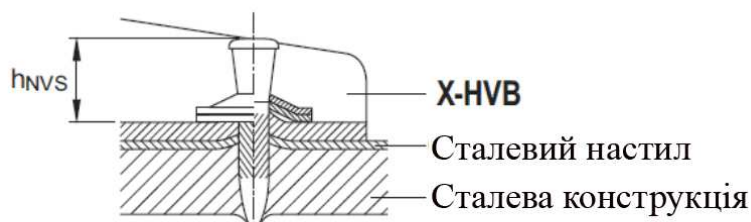


Рисунок 25 – Визначення висоти капелюшка h_{nvs} змонтованого дюбель-цвяха



Рисунок 26 – Коректно установлений дюбель-цвях

Дюбель-Цвяхи X-ENP21 HVB призначені для кріплення кутових упорів до сталі товщиною від 8 мм із межею міцності при розтягу $\sigma_s \geq 350 \text{ Н/мм}^2$. Кутові упори кріпляться як безпосередньо до металевих конструкцій, так і через профільований настил з межею міцності $\sigma_s \geq 270 \text{ Н/мм}^2$ товщиною до 1,5 мм із урахуванням вимог, наведених у таблиці 1.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1 Конструктивні вимоги до параметрів плити

Висота	Мінімальна товщина плити, мм	Максимальна висота профілю настилу h_n , мм (рисунок 27)		
		$\frac{0}{\text{---}} \geq 1,8$ □	$1,0 < \frac{0}{\text{---}} < 1,8$ □	$\frac{0}{\text{---}} \leq 1,0$ □
95	115	60	5 7	45
125	145	80	7 5	73
140	160	80	8 0	80

Примітка: Для профнастилу, з $b_0/h_n \leq 1,0$, покладеного гофрами поперек сталевій балки, кутові упори слід орієнтувати уздовж балки.

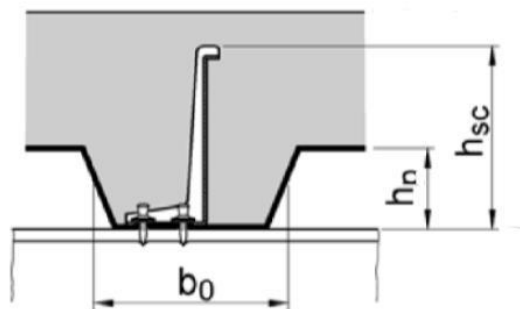


Рисунок 27 – Схема до таблиці 1

КАУ 24. ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Згідно з технічною документацією виготовлювача, при розміщенні упорів у середині профільованого настилу, що виконує роль незнімної опалубки, необхідно дотримувати наступних конструктивних вимог:

Дюбель-цвяхи призначені для кріплення кутових упорів до сталі товщиною від 8 мм із межею міцності при розтягу $\sigma_b \geq 350 \text{ Н/мм}^2$.

Допускається кріплення кутових упорів через профільований настил з межею міцності $R_{tp} \geq 270 \text{ Н/мм}^2$ відповідно до таблиці 2;

Таблиця 2. Конструктивні вимоги до параметрів профільованого настилу

Висота упору X-HVB	Товщина прикріплюваного профнастила t_1 , мм	Товщина базового матеріалу t_{ii} , мм
95	$\leq 2,0$	$\geq 8,0$
125, 140	$\leq 1,5$	

Кутові упори можуть бути застосовані при влаштуванні монолітних залізобетонних перекриттів, улаштованих по профільованому настилу з висотою профілю до 80 мм.

Кутові упори повинні бути встановлені з обліком крайових і осьових відстаней, установлених виробником.

Програма лабораторних випробувань розділена на 3 етапи:

Визначення несучої здатності дюбель-цвяхів;

Визначення силових і деформативних характеристик кутових анкерних упорів у складі стандартних зразків із плитами, влаштованими по знімній опалубці (без профільованого настилу);

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення силових і деформативних характеристик кутових анкерних упорів у стандартних зразках, у яких плити влаштовані по профільованому настилу.;

Перший етап містить у собі випробування серії з 5 дюбель-цвяхів на зрушення розтягу. Типовий зразок для зсувних випробувань являє собою металеву пластину товщиною $t_{ii} = 13$ мм, до якої прикріплена сталеві смуга товщиною $t_i = 3$ мм за допомогою дюбель-цвяха Х-ENP (рисунок 28).



Рисунок 28 – Зовнішній вигляд зразків для випробування дюбель-цвяхів на зрушення

Типовий зразок для випробувань на розтяг являє собою металеву пластину товщиною $t_{ii} = 13$ мм, до якої прикріплена сталеві рама, виготовлена зі сталевих листа марки Ст3 товщиною 3 мм за допомогою дюбель-цвяха Х-ENP (рисунок 29).

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 29 – Зовнішній вигляд зразків для випробування дюбель-цвяхів на розтягання

Для виготовлення стандартних зразків для випробування по другому, третьому етапу був використаний сталевий двотавр 25 К2. При виготовленні зразка двотавр розпускався уздовж по середині стінки; на кожну таврову частину були встановлені кутові анкерні упори Hilti X-HVB за допомогою порохового монтажного пістолета DX76 у кількості, передбаченій серією випробувань (рисунки 30, 31). Після установки кутових упорів була виставлена опалубка, установлені арматурні каркаси зі стрижнів Ø10 класу А500С, відповідно до робочих креслень, зроблене бетонування сумішшю на гранітному щебені, крупністю 5-20 мм. Кожна із двох бетонних плит зразка бетонувалася в горизонтальному положенні, як при бетонуванні сталебетонних плит у реальних умовах. Вібрування бетонної суміші проводилося за допомогою вібростенда, на якому проводилося виготовлення зразків.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 30 – Монтаж кутових анкерних упорів



Рисунок 31 – Зразки для другого етапу випробувань перед заливанням бетону

Для виготовлення стандартних зразків для випробування по третьому етапу був використаний профнастил марок НС44-1000-0,8, Н60-845-0,8 і Н75-750-0,8, (рисунок 32).



Рисунок 32 – виготовлення зразка для третього етапу

Контроль класу бетону по міцності на стиск проводився шляхом випробування бетонних кубів 100x100x100 мм, виготовлених під час заливання монолітних плит стандартних зразків для кожної окремої серії випробування. Після бетонування зразки покривали поліетиленовою плівкою, щоб уникнути

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

появи усадочних тріщин. Твердіння проводилося при природніх умовах протягом 28 діб.

Іспитове встаткування обране з умови здатності забезпечувати плавний додаток навантаження з постійною швидкістю зміни зусилля або переміщення й забезпечувати одночасну фіксацію зусилля або переміщення рухливої частини зразка.

Навантажувальний пристрій для випробувань являло собою два спарені гідроциліндри фірми MTS зі здатністю, що навантажує, до 250 кН кожний, підвішених до переносної просторової прямокутної рами (рисунок 33). Стискаюче навантаження прикладалося строго по центральній осі зразка. Для виміру зусилля використовувався вбудований у гідроциліндр датчик сили із частотою знімання даних 10 Гц. Навантаження проводилося безупинно зі швидкістю 0,83 кН/сек. Під час експериментів безупинно фіксувалися навантаження й вертикальні переміщення. Для виміру переміщень сталеві балки використовувалася приклеєна до неї планка й індикатор поршневого типу, установлений на бетонній плиті на незалежному штативі (рисунок 34).



Рисунок 33 – Загальний вид іспитової установки

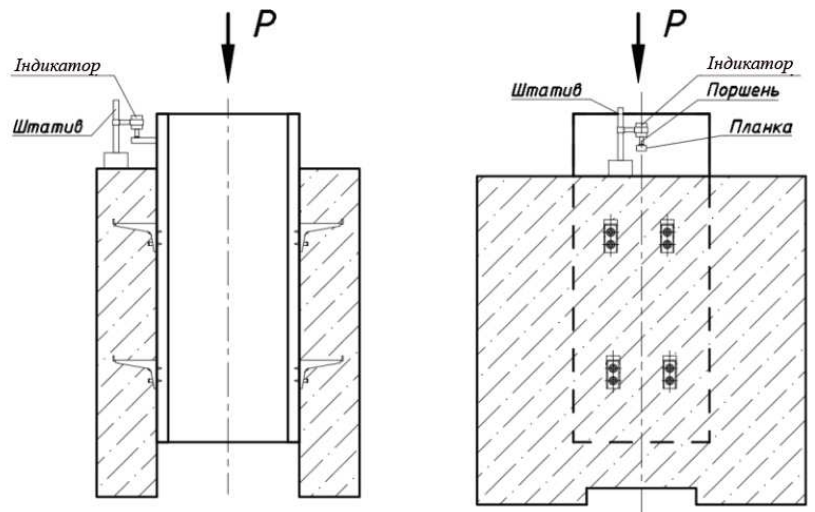


Рисунок 34 – Устаткування для фіксації переміщень

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Другий етап випробувань містив у собі п'ять серій випробувань по три стандартні зразки без профільованого настилу в кожному. На даному етапі використовувалися упори висотою 95, 125 і 140 мм із їхнім паралельним і перпендикулярним розміщенням щодо осі комбінованої балки в плитах товщиною 120, 150 і 160 мм відповідно (таблиця 3) (рисунок 35-36). У завдання другого етапу входило: одержання даних про опір упорів зрушенню в плитах без профільованого аркуша; підтвердження наявності кореляції між опором упору зрушенню і його висотою, оцінка впливу напрямку розміщення кутових анкерних упорів у комбінованій балці.



Рисунок 35 – Фронтальний вид зразка по другому етапу



Рисунок 36 – Бічний вид зразка по другому етапу

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3

№	Маркування зразка	Висота упору, мм	Товщина зб плити, мм	Орієнтація упорів щодо балки	Кількість зразків
1	X-120P	95	120	Паралельно	3
2	X-150P	125	150	Паралельно	3
3	X-160P	140	160	Паралельно	3
4	X-120T	95	120	Перпендикулярно	3
5	X-150T	125	150	Перпендикулярно	3
Разом					15

Третій етап випробувань містив у собі 7 серій по три стандартні зразки із профільованим настилом. Етап містить у собі випробування упорів висотою 95-125 мм із їхнім паралельним і перпендикулярним розміщенням щодо осі комбінованої балки усередині гофр профільованого настилу (таблиця 4).

Упори встановлені відповідно до конструктивних вимог і з урахуванням рекомендацій виробника. У завдання випробувань третього етапу входило: одержання даних про вплив геометричних параметрів настилу, а також параметрів розміщення упорів (крайові й осьові відстані, кількість упорів у гофре) на несучу здатність кутових анкерних упорів. Отримані дані дозволили зробити вивід про загальну застосовність профільованих настилів у якості незнімної опалубки монолітних сталезалізобетонних перекриттів.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 37 – Фронтальний вид зразка по третьому етапу



Рисунок 38 – Бічний вид зразка по третьому етапу

Таблиця 4 Програма третього етапу випробувань стандартних зразків-фрагментів сталезалізобетоної балки на зрушення

№	Маркування зразка	Висота упору, мм	Товщина зб плити, мм	Орієнтація упорів щодо балки	Марка профлиста	Кількість зразків
1	X-120T-N44	95	120	Перпендикулярно	НС44	3
2	X-150T-N44	125	150	Перпендикулярно	НС44	3
3	X-120P-N44	95	120	Паралельно	НС44	3

4	X-150P- N44*	125	150	Паралельно	HC44	3
5	X-150T- N75	125	150	Перпендикулярно	H75	3
6	X-150P- N60	125	150	Паралельно	H60	3
7	X-150T- N60	125	150	Перпендикулярно	H60	3
Разом						24

* - дані по серії були виключені з результатів дослідження

При монтажі упорів X-HVB 125 виявилося, що фактична довжина їх опорної частини на 1 мм довше, чим в упорів X-HVB 95, установлених аналогічним образом у серії X-120P-N44. Ширина гофри й наявність ребра жорсткості в аркуші не дозволяла встановити анкерні упори, тому ребра жорсткості були підігнуті вручну, після чого упори були змонтовані (рисунок 39). Із цієї причини результати випробувань даної серії мали розкид, що перевищує припустимий і були виключені із загального аналізу.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

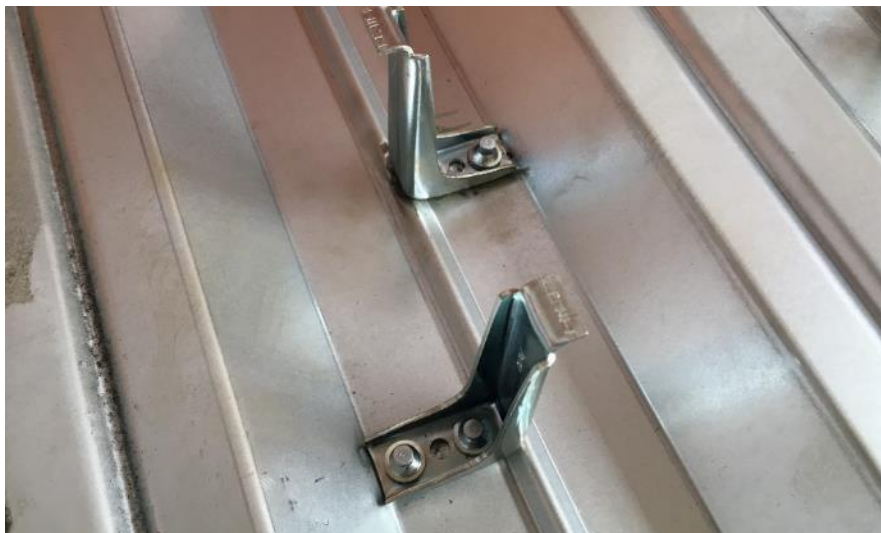


Рисунок 39 – Вид анкерних упорів у серії Х-150Р-N44 після установки

4. Оцінка твердості і деформативності кутових анкерних упорів у монолітних сталезалізобетонних перекриттях без профільованого настилу

Серія зразків Х-150Р з плитами 600х600х150 мм без профільованого настилу (рисунок 40). У кожній плиті паралельно осі сталеві балки розміщено 4 упору висотою 125 мм. Фактична міцність бетону становить 39,4 Мпа, що відповідає класу бетону В30. Величина руйнуючого здвигового зусилля на зразок і на 1 упор, зафіксований механізм руйнування переміщення плити наведено в таблиці 5.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 40 – Загальний вид зразка із серії Х-150Р

Таблиця 5 Результати випробувань зразків із серії Х-150Р

№ зразка	Руйнуюче зусилля, кН		Механізм руйнування	Переміщення δ , мм
	На зразок	На 1 упор		
1	381,77	47,7	Зріз дюбеля	7,10
2	375,84	47,0	Зріз дюбеля	8,36
3	361,6	45,2	Зріз дюбеля	6,52

Експерименти показали, що конструкція об'єднання в даній серії показала податливу поведінку – у процесі випробування було зафіксоване переміщення двотавра щодо плит на 6,5-8,3 мм.

На кожному із трьох зразків руйнування конструкції об'єднання відбулося внаслідок зрізу дюбелів (рисунок 41). При огляді контактної поверхні плит після випробувань було виявлено незначне змінання опорної частини упорів дюбелями, про що свідчить форма отворів, у вигляді витягнутого еліпса



а

б

у

г

Рисунок 41 – Механізм руйнування конструкції об'єднання в зразку Х-150Р;
а, б – вид сталеві балки після випробування; в, г – вид залізобетонної плити після випробування.

Серія зразків Х-150Т із плитами 600х600х150 мм без профільованого настилу (рисунок 42). У кожній плиті перпендикулярно осі сталеві балки розміщено 4 упору висотою 125 мм. Фактична міцність бетону становить 40,1Мпа, що відповідає класу бетону В30. Величина граничного здвигового зусилля на зразок і на 1 упор, зафіксований механізм руйнування й граничне переміщення плити наведено в таблиці 6.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6. Результати випробувань зразків із серії Х-150Т

№ зразка	Руйнуюче здвигове зусилля, кН		Механізм руйнування	Переміщення δ, мм
	На зразок	На 1 упор		
1	397,38	49,7	Зріз дюбеля (87%), Вирив дюбеля (13%)	6,12
2	365,6	45,7	Зріз дюбеля (81%), вирив дюбеля (19%)	6,12
3	404,8	50,6	Зріз дюбеля (75%), вирив дюбеля (25%)	8,44



Рисунок 42 – Загальний вид зразка із серії X-150T

У кожному із трьох зразків спостерігався змішаний механізм руйнування: частина з'єднань зруйнувалася внаслідок зрізу дюбеля (близько 80%) (рисунок 43), інші дюбелі були вирвані з основи (рисунок 44). У першому зразку 2 з 16 дюбелів були вирвані з основи, у другому – 3, у третьому – 4. Варто відзначити, що в таких зразках «верхня» пара упорів мала тенденцію до зрізу, у той час як «нижня» майже завжди мала по одному дюбелю, вирваному з основи (рисунок 44).



Рисунок 43 – Зріз дюбеля



Рисунок 44 – Вирив
дюбелів зі сталевій
основи



Рисунок 45 – Змішаний
механізм руйнування

Серія зразків X-120P із плитами 600x600x120 мм без профільованого настилу (рисунок 46). У кожній плиті паралельно осі сталевій балки розміщено 4

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

упори висотою 95 мм. Фактична міцність бетону становить 47,2 Мпа, що відповідає класу бетону В35. Величина руйнуючого здвигового зусилля на зразок і на 1 упор, зафіксований механізм руйнування переміщення плити наведено в таблиці 7.



Рисунок 46 – Загальний вид зразка із серії Х-120Р

Таблиця 7. Результати випробувань зразків із серії Х-120Р

№ зразка	Руйнуюче здвигове зусилля, кН		Механізм руйнування	Переміщення δ , мм
	На зразок	На 1 упор		
1	344,8	43,1	Зріз дюбеля (88%), вириг дюбеля (13%)	6,10
2	368,9	46,1	Зріз дюбеля (94%),	6,05

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

			вири́в дюбеля (6%)	
3	344,5	43,1	Зрі́з дюбеля (88%), вири́в дюбеля (13%)	6,33

З експерименту видно, що у всіх зразках упори продемонстрували податливий характер поведінки із плавним підйомом кривої на діаграмі, переходом у пластичну стадію в районі 2,5-3 мм і руйнуванням у районі 6 мм.

На кожному із трьох зразків спостерігався змішаний механізм руйнування: у першому й третьому зразку з основи було вирвано по 2 дюбелі з 16, у другому зразку – 1 (рисунок 47). Інші дюбелі були зруйновані внаслідок зрізу за аналогією з попередніми серіями. Зменшення висоти анкерного упору приводить до зниження його опору зрушенню, як показали порівняльні випробування із серією Х-150Р.



Рисунок 47 – Плита Х120Р-2 після випробування

Серія зразків Х-120Т із плитами 600х600х120 мм без профільованого настилу (рисунок 48). У кожній плиті перпендикулярно осі сталеві балки розміщено 4 упори висотою 95 мм. Фактична міцність бетону становить 41,9 Мпа,

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що відповідає класу бетону В30. Величина руйнуючого здвигового зусилля на зразок і на 1 упор, зафіксований механізм руйнування переміщення плити наведено в таблиці 8.

Таблиця 8. Результати випробувань зразків із серії Х-120Т

№ зразка	Руйнуюче здвигове зусилля, кН		Механізм руйнування	Переміщення δ, мм
	На зразок	На 1 упор		
1	344,8	43,1	Зріз дюбеля (13%), вири́в дюбеля (50%), розрив упорів (37%)	7,3
2	354,5	44,3	Вири́в дюбеля (50%), розрив упорів (50%)	11,6
3	356,8	44,6	Вири́в дюбеля (25%), розрив упорів (75%)	6,2



Рисунок 48 – Загальний вид зразка із серії Х-120Т

Серія Х-120Т – єдина, у якій були зафіксовані непружні деформації самих кутових упорів, що перевищують 6 мм. Впливом цього механізму руйнування пояснюється висока піддатливість у другому зразку (11,6 мм), що узгодиться результатами випробувань К. Пелешки, описаними в огляді. Там, де упори одержали менші деформації, руйнування відбулося внаслідок викиду дюбелів з основи (рисунок 50), при цьому стрижні дюбеля також одержали непружні деформації, що перевищують 6 мм (рисунок 51). У першому зразку був зафіксований зріз одного з дюбелів.

Не дивлячись на відмінність у зафіксованих механізмах руйнування між серією Х-120Т і іншими, силові характеристики анкерних зв'язків залишилися на одному рівні. Так, наприклад, порівнюючи результати серії Х-120Т з серією Х-120Р (упори тієї ж висоти, але встановлені паралельно вектору сили), можна помітити, що різниця між середніми руйнуючими зусиллями в серії, наведеними на 1 упор, відрізняються менш ніж на 1% (44,1 кН у Х-120Р проти 44,0 у Х-120-)). Механізм руйнування не вплинув суттєво на роботу зв'язків. Даний вивід також узгодиться з результатами випробувань К. Пелешки [136].

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 49 –
Руйнування
зразка внаслідок
деформації упорів



Рисунок 50 – Нижня
пари упорів вийшла з
ладу внаслідок вириву
дюбелів з основи



Рисунок 51 – Дюбелі,
вирвані з основи

Серія зразків X-160P із плитами 600x600x160 мм без профільованого настилу (рисунок 52). У кожній плиті паралельно осі сталеві балки розміщено 4 упори висотою 140 мм. Фактична міцність бетону становить 42,8 Мпа, що відповідає класу бетону В30. Величина руйнуючого здвигового зусилля на зразок і на 1 упор, зафіксований механізм руйнування переміщення плити наведено в таблиці 9.



Рисунок 52 – Загальний вид зразка із серії X-160P

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 9. Результати випробувань зразків із серії X-160P

№ зразка	Руйнуюче здвигове зусилля, кН		Механізм	Переміщення
	На зразок	На 1 упор	руйнування	δ , мм
1	427,2	53,4	Зріз дюбеля (100%)	5,20
2	402,4	50,3	Зріз дюбеля (100%)	5,27
3	381,6	47,7	Зріз дюбеля (100%)	5,6

Зо дослідів видно, що упори в даній серії показали менш податливу поведінку в порівнянні з іншими серіями: у жодному зі зразків переміщення плити не досягли 6 мм.

У кожному із трьох зразків руйнування конструкції об'єднання відбулося внаслідок зрізу дюбель-цвяха за аналогією із серією X-150P. При порівнянні результатів цієї серії випробувань із результатами інших серій, таких як X-120P і X-150P, можна зробити висновок, що висота анкерного упору впливає на його опір зрушенню.

У процесі випробувань зразків 5-ти серій другого етапу дослідження були отримані дані про руйнуюче зусилля, граничне переміщення плити й механізми руйнування кожного зразка (таблиця 10). У таблицю також були включені дані про міцність бетону залізобетонних плит, отриманими в ході першого етапу дослідження. Крім того, у таблицю додані результати випробувань зразків, що

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мають схожу конфігурацію (висота упорів, їх орієнтація, крайові й осьові відстані), виконані М. Кризинелом, Ф. Еггертом і К. Пелешкой.

Таблиця 10. Результати випробувань зразків із плитами без профільованого настилу

	Серія	Міцність бетону, МПа	Руйнуюче зусилля на 1 упор, кН	Переміщен ня, мм	Переважаюч ий механізм руйнування	% зрізів дюбел я	% вири в дюбеля	% розривів упору
1	X-150P- 1	39,4	47,7	7,1	Зріз дюбелів	100%	0%	0%
2	X-150P- 2	39,4	46,9	8,4	Зріз дюбелів	100%	0%	0%
3	X-150P- 3	39,4	45,2	6,5	Зріз дюбелів	100%	0%	0%
4	X-150T- 1	40,1	49,7	6,1	Зріз дюбелів	88%	13%	0%
5	X-150T- 2	40,1	45,7	6,1	Зріз дюбелів	81%	19%	0%
6	X-150T- 3	40,1	50,6	8,4	Зріз дюбелів	75%	25%	0%

					КАУ 24. ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

7	X-120P-1	47,2	43,1	6,1	Зріз дюбелів	88%	13%	0%
8	X-120P-2	47,2	46,1	6,1	Зріз дюбелів	94%	6%	0%
9	X-120P-3	47,2	43,1	6,3	Зріз дюбелів	88%	13%	0%
10	X-120T-1	41,9	43,1	7,3	Вирив дюбелів	25%	50%	25%
11	X-120T-2	41,9	44,3	11,6	Розрив упорів	0%	50%	50%
12	X-120T-3	41,9	44,6	6,2	Розрив упорів	0%	25%	75%
13	X-160P-1	42,8	53,4	5,2	Зріз дюбелів	100%	0%	0%
14	X-160P-2	42,8	50,3	5,3	Зріз дюбелів	100%	0%	0%
15	X-160P-3	42,8	47,7	5,6	Зріз дюбелів	100%	0%	0%
16	Пелешк а S1.3	40,1	38,9	14,4	Розрив	13%	25%	63%

					КАУ 24. ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

	(=120P)				упорів			
17	Пелешк а S4 (=120T)	36,8	42,5	12,0	Вирив дюбелів	0%	100%	0%
18	Кризине л (=120P)	34,5	35,5	8,0	Вирив дюбелів	25%	63%	13%
19	Еггерт 3- 1 (=120P)	36,2	45,3	5,3	Вирив дюбелів	25%	63%	13%
20	Еггерт 4- 1 (=150P)	58,0	52,1	8,6	Вирив дюбелів	25%	63%	13%

Для того, щоб визначити, як впливають висота й орієнтація упорів, клас бетону плити на міцність і деформативність було запропоновано провести чисельне моделювання.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Чисельне моделювання роботи кутових анкерних упорів у програмному комплексі Ansys Mechanical

Для більш глибокого вивчення роботи кутових анкерних упорів у складі фрагмента сталезалізобетонної балки, був зроблений добір параметрів моделі, використовуючи метод кінцевих елементів, реалізований у програмному комплексі Ansys Mechanical 2021 R2. Ansys Mechanical 2021 R2 надає можливість враховувати закони деформування для обліку пластичних і псевдопластичних деформацій, що дозволяє описувати поведінку бетону на всіх стадіях навантаження.

Програмний комплекс Ansys, використовує метод кінцевих елементів, призначений для розв'язку мультифізичних завдань, у тому числі силових. Ця програма надає можливість моделювання як статичних, так і динамічних навантажень у тимчасовій області. Це дає можливість більш детально вивчити поведінку матеріалів у різних умовах і ситуаціях.

У якості еталона для розробки моделі був обраний перший зразок із серії Х-150Р с двома плитами 600х600х150 мм без профільованого настилу. У кожній плиті паралельно осі сталевій балки розміщено 4 упору висотою 125 мм.

Упори закріплені парою дюбелів, прикріплених до сталевій балки у вигляді двотавра 25 К2 с товщиною полиці 13 мм. Фактичний клас бетону плит по міцності – В30, плити армовано двома сітками зі стрижнів Ø10 А500із із кроком 150 мм.

Для оптимізації часу розрахунків у розрахунковому комплексі, на етапі налагодження параметрів моделі була створена модель 1 упору в бетоні, яка являє собою фрагмент зразка, описаного вище (рисунок 53).

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

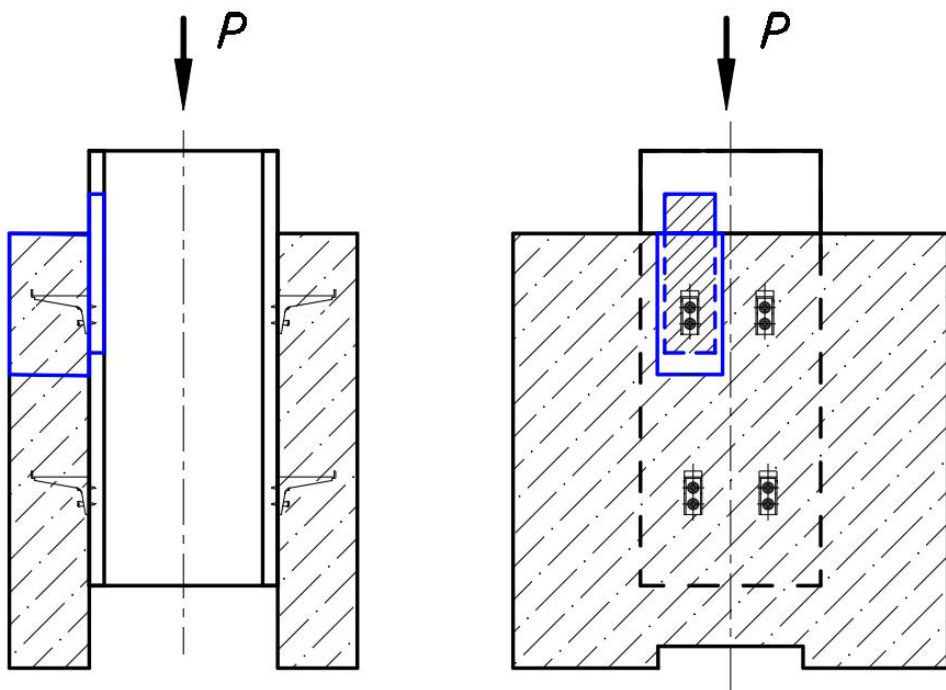


Рисунок 53 – Виділення фрагмента зразка для моделювання

Геометричні розміри модельованого фрагмента зразка представлено на рисунку 54.

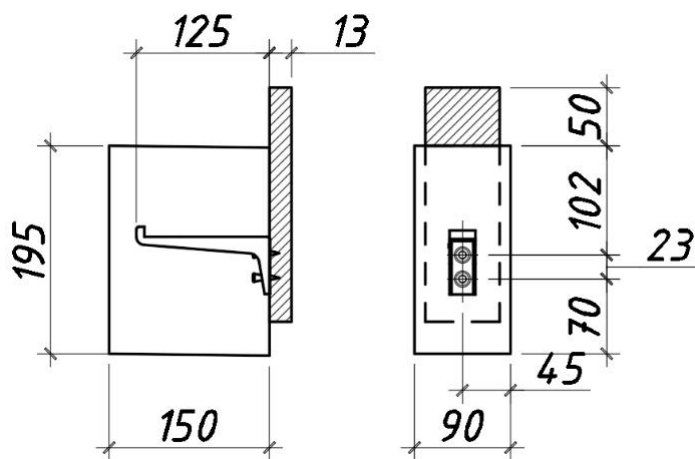


Рисунок 54 – Геометричні розміри моделі

Для моделювання експерименту, була прийнята розрахункова схема: опорна грань плити була обмежена в переміщенні по типу твердого закладення (заборона переміщень по X , Y , Z і повороту по U_x , U_y , U_z). Зрушуюче зусилля на анкерний упор передавалося через рівномірно розподілену навантаження, прикладене

					КАУ 24. ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

перпендикулярно торцю сталевій пластини. Для того, щоб забезпечити коректну роботу фрагмента відносно повнорозмірного зразка, «відтинаєма» частина по осі симетрії була замінена рухливими опорами (умовно показане жовтогарячими колами на рисунку 55) сталевій пластини, що допускає переміщення, уздовж осі Y.

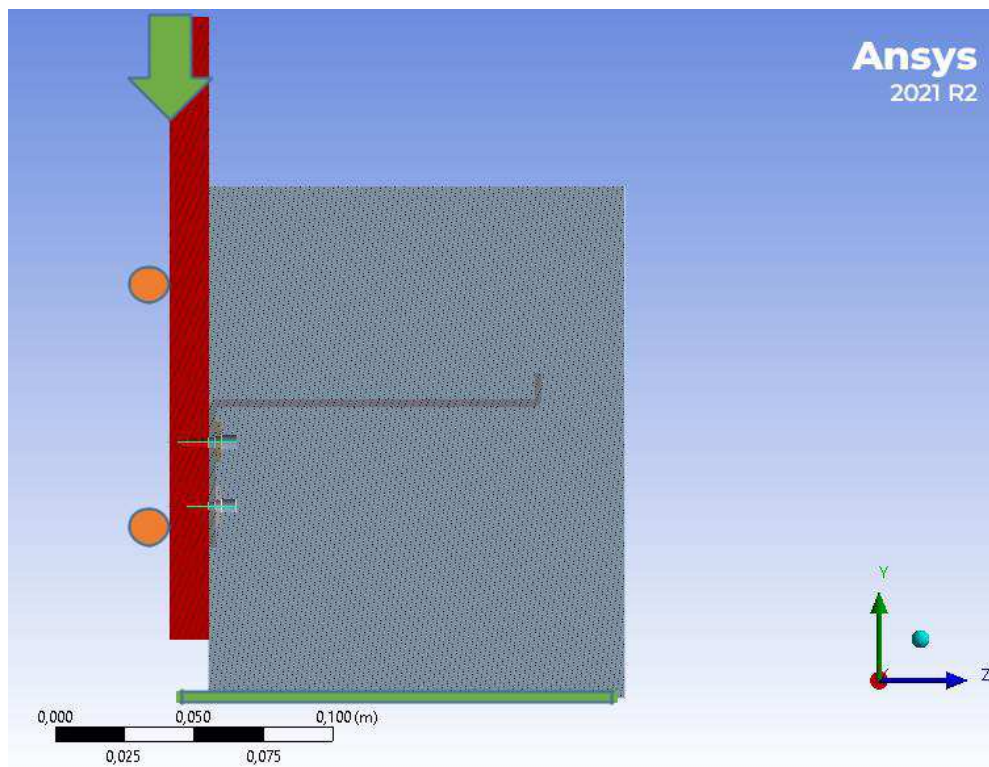


Рисунок 55 – Принципова схема навантаження моделі

Ключову складність на даному етапі представляє моделювання роботи дюбельного з'єднання. У роботі Н. Глухович запропоновано моделювати дюбель у вигляді об'ємного тіла, однак була відзначена висока трудомісткість у налаштуванні параметрів моделі при такому способі моделювання. Крім того, слід відзначити, що спосіб моделювання кріпильних елементів об'ємними тілами при коректному заданні параметрів матеріалів і сітки KE дозволяє одержати повну інформацію про напружено-деформуємий стан даної частини моделі. Оскільки в проведеному дослідженні ключовим завданням є вивчення роботи кутових упорів у цілому, докладну інформацію про НДС у кожному кінцевому елементі дюбеля можна зневажити.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відомий спосіб моделювання кріпильних елементів (зокрема, болтових з'єднань) за допомогою балкових тіл, який дає адекватну збіжність, як з результатами натурних випробувань, так і з результатами розрахунків моделей з об'ємними тілами. З метою економії часу подальших розрахунків укрупнених моделей, на даному був розглянутий варіант спрощення, у якому об'ємне тіло стрижня дюбеля замінялося на кілька балкових тіл з еквівалентним діаметром (рисунок 56). Шайба при цьому моделювалася окремим об'ємним тілом відповідно до рекомендацій.

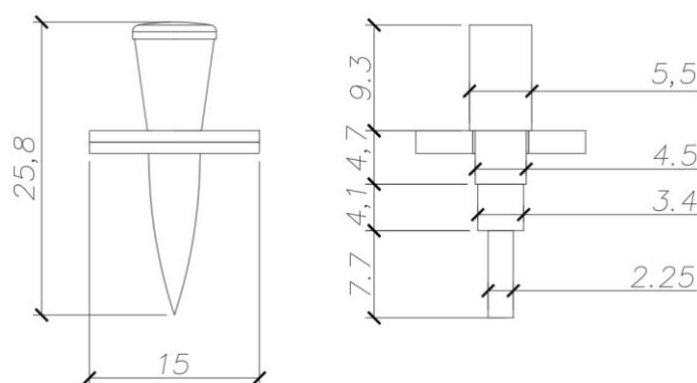


Рисунок 56 – Схема заміни об'ємного тіла стрижня дюбеля балковими тілами

Для моделювання окремих частин зразка були застосовані моделі матеріалів із заданими нелінійними властивостями (характеристики бетону були прийняті з урахуванням критерію міцності Друкера-Прагера (рисунок 57) [6, 7], характеристики сталі опорної пластини були прийняті за даними виробника). Характеристики сталі для дюбелів і упорів узяті на підставі даних випробувань.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

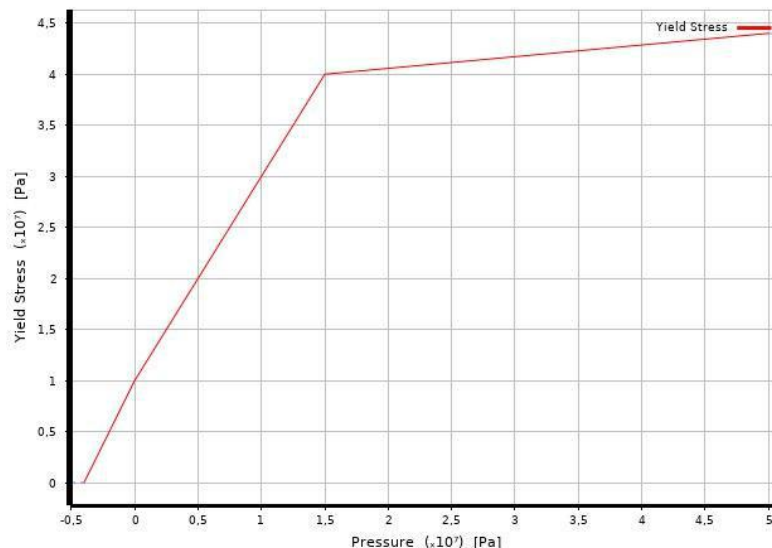


Рисунок 57 – Діаграма деформування, прийнята для критерію міцності Друкера-Прагера (по даним бібліотеки матеріалів Ansys Mechanical)

Тип і розмір сітки кінцевих елементів підбирався виходячи з відносного масштабу частин, що сполучаються, зразка й умов збіжності чисельного розв'язку. Так, наприклад, при моделюванні залізобетонної плити, вона була розділена на фрагменти для того, щоб зробити більшу кількість кінцевих елементів у зоні контакту бетону й анкерного упору. Аналогічним образом розроблена модель зі сталеву пластину, що має згущення сітки навколо контактної поверхні балки й дюбелів (рисунок 58).

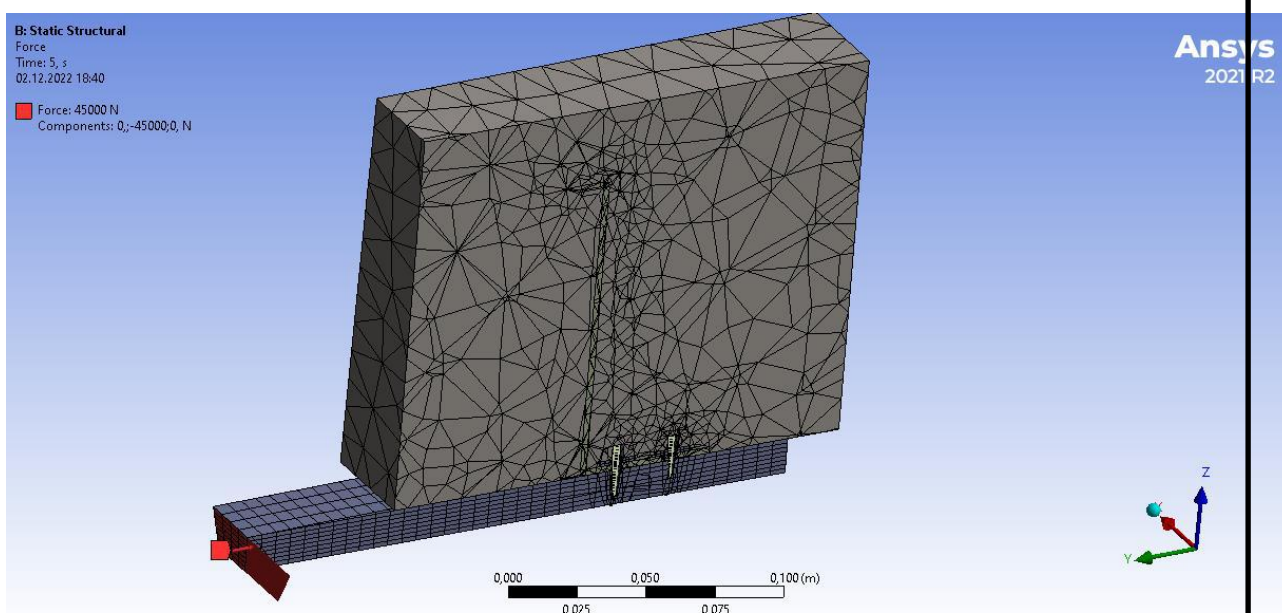


Рисунок 58 – Загальний вид розрахункової моделі (розріз)

					КАУ 24. ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Основні параметри чисельної моделі для окремих конструктивних елементів зразка наведено в таблиці 11.

Таблиця 11. Основні параметри елементів моделі

Конструктивний елемент	Залізобетонна плита	Сталева пластина	Дюбель	Кутовий анкерний упор	Шайба
Тип KE	Solid	Solid	Beam	Solid	Solid
Параметри сітки	Tetrahedrons, розмірність 10 мм	Tetrahedrons, розмірність 8 мм	Розмірність 10 мм	Tetrahedrons, розмірність 0,3-3 мм	Tetrahedrons, розмірність 0.3-1,5 мм
Щільність, кг/м ³	2300	7850			
Модуль Юнга, МПа	32500	20000			
Коефіцієнт Пуассона	0,2	0,3			

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КАУ 24. ПЗ				

Модуль об'ємної пружності, МПа	18056	16667
Модуль зрушення, МПа	13542	76923

Для того, щоб замоделювати податливий характер роботи анкерних упорів і дюбельних з'єднань, що допускає значні пластичні деформації даних елементів, у властивостях матеріалу був заданий параметр мультилінійного ізотропного зміцнення відповідно до таблиці 12.

Таблиця 12. Параметри мультилінійного ізотропного зміцнення

Конструктивний елемент	Відносна деформація	Напруга, МПа
Кутовий анкерний упор	0	231
	0,001	320
	0,002	460
	0	1034

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КАУ 24. ПЗ	Арк.

Дюбель		
	0,002	1500
	0,0025	1510
	0,003	1520
	0,0035	1530
	0,004	1550
	0,08	2800

Ключовим етапом роботи став добір параметрів контакту між конструктивними елементами в моделі таким чином, щоб характер їх взаємодії узгоджувався з результатами, отриманими в ході лабораторного експерименту. Опис параметрів контактних пар представлено в таблиці 13.

Таблиця 13. Параметри контактів між елементами моделі

Контактна пара	Тип контакту	Параметри контакту
Плита-Сталева пластина	Friction	Коефіцієнт тертя $\mu=0,3$
Плита-Анкерний упор	Friction	
Шайба-Анкерний упор	Friction	

		Шайба-Двотавр			Friction	Коефіцієнт тертя	Арк.
					КАУ 24. ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Сталева пластина- анкерний упор	Friction	$\mu = 0,15$
------------------------------------	----------	--------------

При моделюванні стрижня дюбеля балковими елементами, з об'ємних тіл бетонної плити й сталевієї пластини був виключений обсяг реального дюбеля. Поверхня площини, що утворилася, була розбита на 6 контактних поверхонь (позначені римськими цифрами на рисунку 59), які зв'язувалися з вузлами балкового тіла (позначені арабськими цифрами на рисунку 59) за допомогою команди coupling, реалізованої через Apdl-Макрос, що активується при запуску вирішувача. Положення контактних поверхонь було обрано згідно схеми деформування стрижня при здвиговому навантаженню.

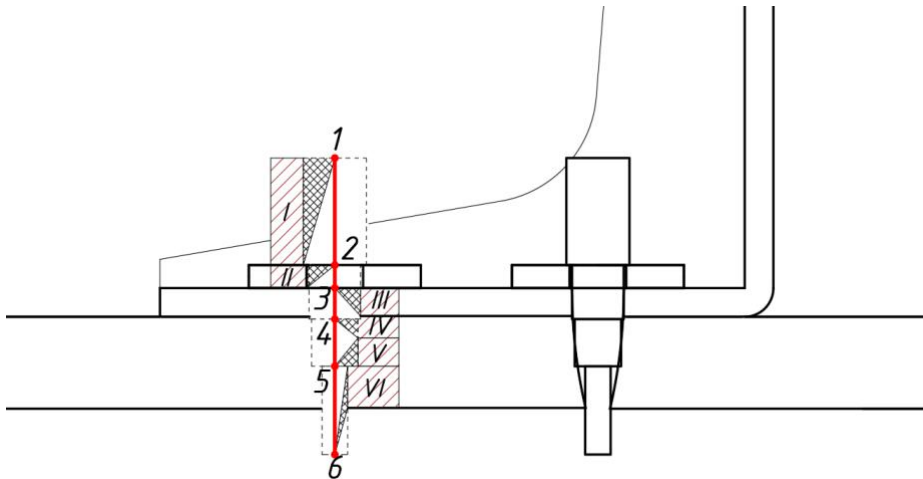


Рисунок 59 – Схема об'єднання вузлів дюбеля з контактними поверхнями: бетону (I), шайби (II), упору (III) і сталевієї пластини (IV-VI)

6. Результати моделювання й порівняння їх з експериментом

Навантаження моделі було задано через силу, прикладену щаблями по 5, 15, 25, 35 і 45 кН, які в наслідку розбивалися на більш дрібні підкроки автоматично виходячи з умов збіжності. Отримані дані по навантаженню, переміщенні,

КАУ 24. ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

розтяжному зусиллю в найбільш навантаженому елементі дюбелів наведено в таблиці 14.

Таблиця 14. Результати розрахунків моделі

Підкрок навантаження	Навантаження, кН	Переміщення, мм	Зусилля зрушення у дюбелі, кН	Зусилля розтягання в дюбелі, кН
0	1,000	0,005	0,447	5,181
1	2,000	0,010	1,021	5,295
2	3,500	0,015	1,669	5,407
3	5,000	0,020	2,664	5,636
4	9,000	0,028	3,010	5,828
5	10,500	0,037	4,377	5,949
6	12,750	0,057	5,658	6,007
7	15,000	0,080	7,445	5,988
8	18,700	0,103	8,865	5,933
9	20,400	0,130	9,638	5,831

		10	24,098	0,182	10,373	5,573	Арк.
					КАУ 24. ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

11	24,545	0,193	10,670	5,528
12	26,158	0,290	10,966	5,484
13	27,567	0,376	11,263	5,439
14	27,788	0,454	11,560	5,395
15	28,059	0,490	11,856	5,350
16	28,331	0,509	12,153	5,305
17	29,986	0,540	12,450	5,261
18	30,600	0,579	13,043	5,171
19	31,906	0,668	13,527	5,019
20	33,140	0,758	14,010	4,868
21	34,217	0,846	14,385	4,783
22	34,912	0,914	14,760	4,698
23	35,606	0,984	14,865	5,088
24	36,441	1,076	14,970	5,478
25	37,169	1,156	15,075	5,869

					КАУ 24. ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

26	37,896	1,240	15,180	6,259
27	38,926	1,372	15,216	6,975
28	39,899	1,503	15,252	7,692
29	40,349	1,582	15,288	8,409
30	40,800	1,672	15,324	9,125
31	41,948	1,786	15,372	9,746
32	42,430	1,924	15,420	10,367
33	42,899	2,062	15,467	10,987
34	43,367	2,201	15,515	11,608
35	43,843	2,338	15,538	12,164
36	44,320	2,480	15,561	12,187
37	44,544	2,607	15,584	12,210
38	44,374	2,737	15,607	12,233
39	44,631	2,880	15,630	14,388
40	44,097	3,031	15,651	14,945

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

41	44,611	3,208	15,672	15,501
42	44,647	3,375	15,693	16,058
43	44,690	3,544	15,735	17,171
44	44,729	3,739	15,757	17,848
45	44,768	3,920	15,778	18,525
46	44,806	4,102	15,773	18,802
47	44,845	4,246	15,767	19,080
48	44,884	4,390	15,762	19,357
49	44,923	4,570	15,751	19,912
50	44,962	4,669	15,748	20,142
51	44,986	4,918	15,744	20,139
52	45,000	6,195	15,733	21,294

За даними таблиці 14 побудований графік навантаження-переміщення для моделі М1, представлений на рисунку 60. На даному графіку також представлені діаграми навантажень-переміщень, узяті з результатів випробувань серії Х-150Р, виконаних у рамках другого етапу дослідження.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

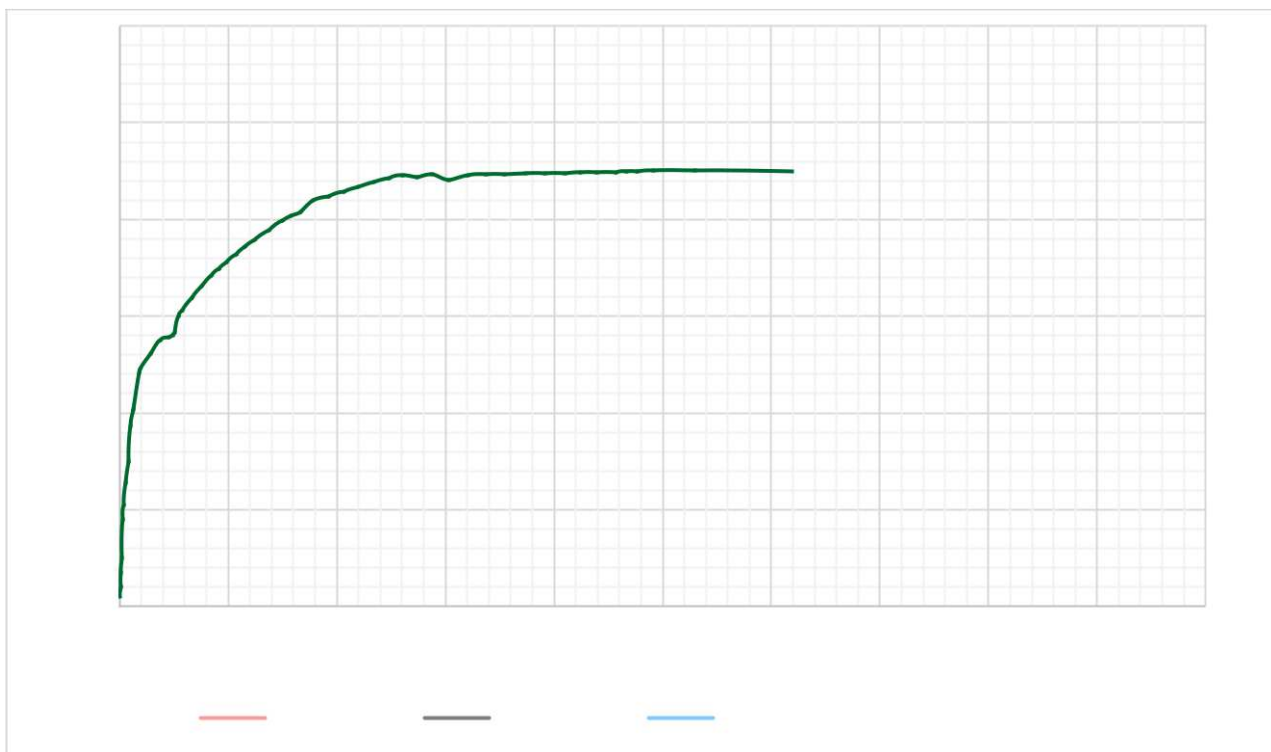


Рисунок 60 – Графіки навантаження-переміщення для досліджуваних зразків

Як видно із графіка на рисунку 60, підібрані параметри моделі дозволили відбити принциповий характер роботи упору. При навантаженні 45 кН було досягнуте переміщення пластини щодо плити на 6,2 мм у напрямку дії навантаження. Крім цього, було зафіксоване переміщення краю пластини по нормалі (вісь z на рисунку 61) щодо пластини до 4,1 мм, обумовлене деформацією розтягання в дюбелях.

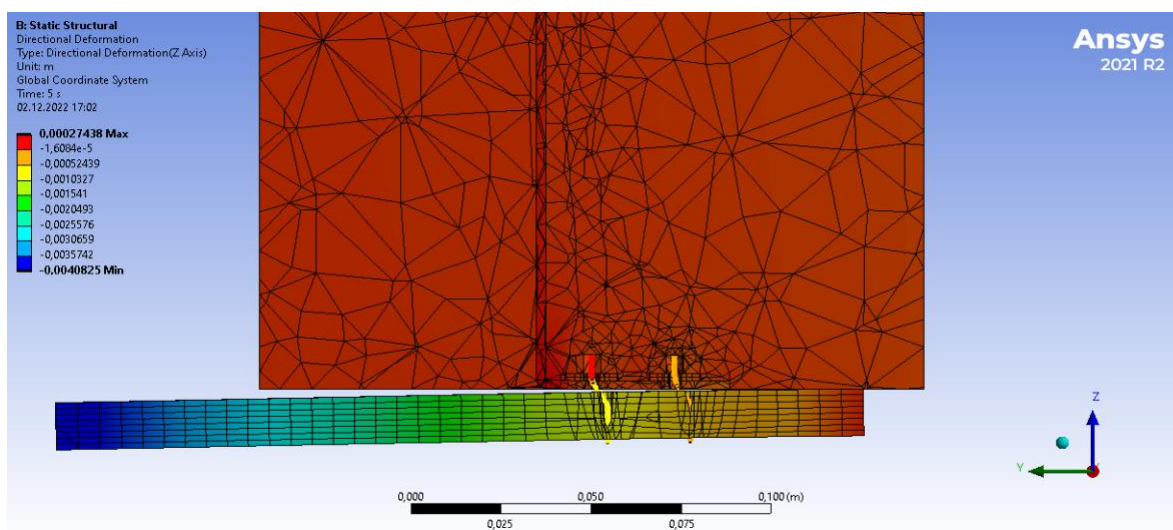


Рисунок 61 – Ізополе переміщень елементів моделі по осі z

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

На рисунку 62 представлено ізополе напруг у бетонній плиті на останньому кроці навантаження зразка. Характер розподілу внутрішніх зусиль в плиті показує, що зсувні зусилля, що передаються на бетон від кутового упору через дюбельні з'єднання, розподіляються по висоті упору нерівномірно й досягають максимуму в опорній частині упору. Характер роботи упору в моделі узгодиться з моделлю Лунгера-Хаузена для черід-болтів, описаної в огляді, що свідчить про коректність використаних вихідних даних.

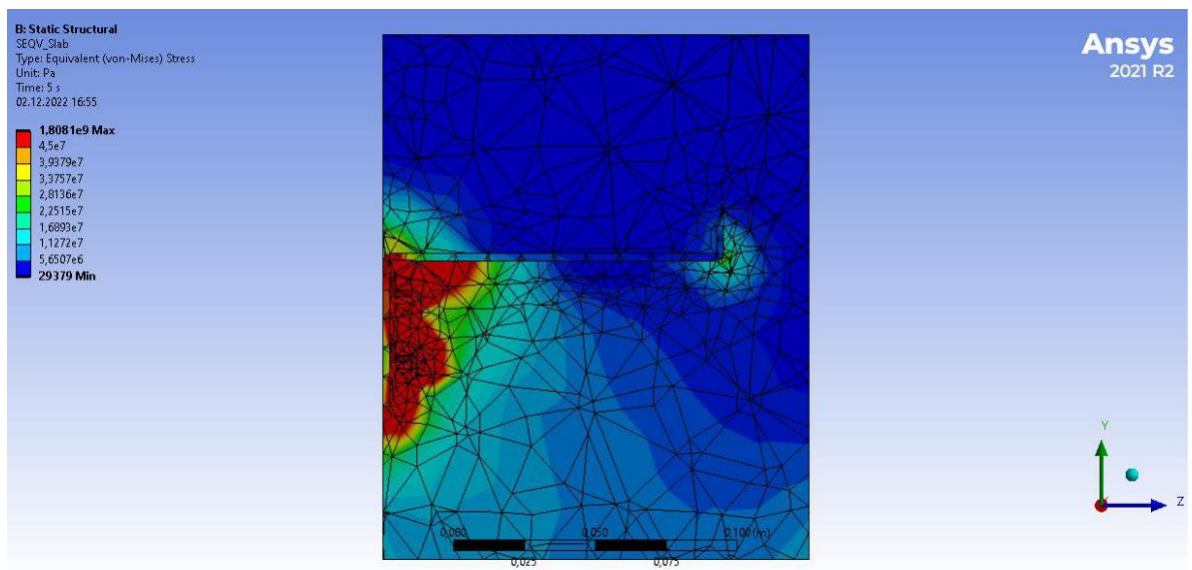


Рисунок 62 – Ізополе напруг у бетоні в області розташування анкерного упору

На рисунку 63 представлений розподіл розтяжних зусиль у балкових елементах, що моделюють стрижень дюбеля на останньому кроці навантаження. Видно, що лівий дюбель на рисунку 62 випробовує значну напругу, більш ніж в 2 рази перевищуючі значення в правому дюбелі.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

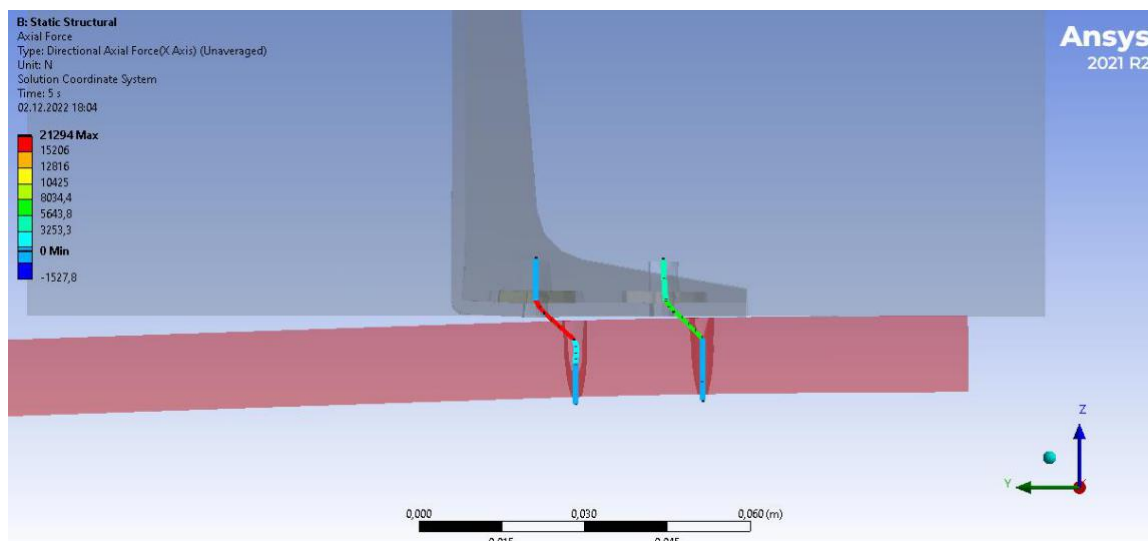


Рисунок 63 – Розподіл розтяжних зусиль у стрижні дюбеля

На рисунку 63 представлений розподіл здвигових зусиль у балкових елементах, що моделюють стрижень дюбеля на останньому кроці навантаження. По колірній шкалі внутрішніх зусиль видно, що в розглянутий момент часу зусилля зрушення в обох стрижнях перебували на рівні 15,3-15,7 кН і в правому дюбелі (рисунок 64) було вище.

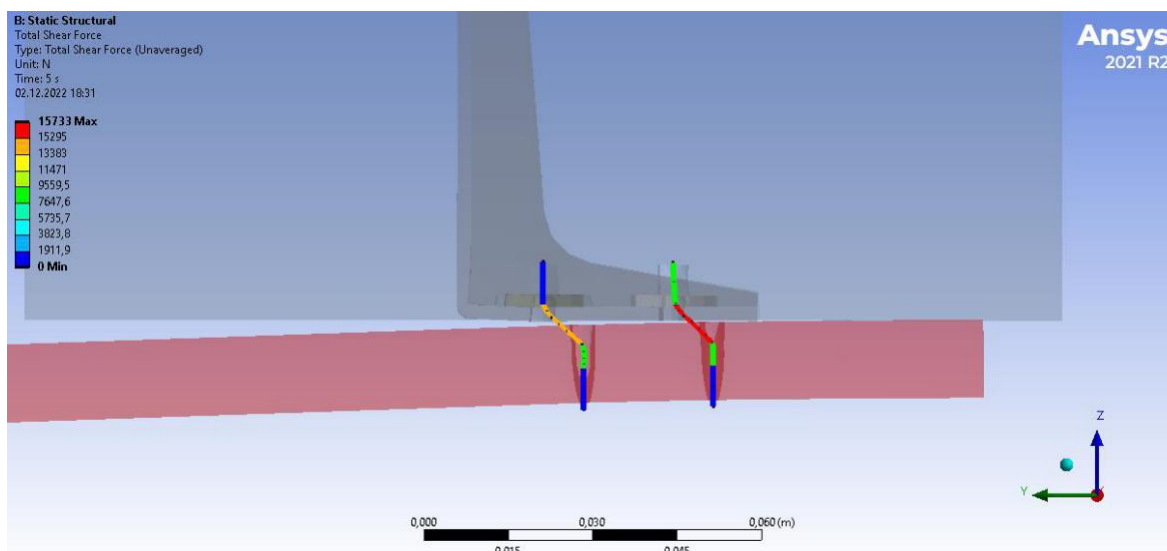


Рисунок 64 – Розподіл зусиль у стрижні дюбеля

За даними таблиці 14 побудований графік зміни зусилля в найбільш навантаженій ділянці дюбеля залежно від переміщення сталевієї пластини (рисунок 65). Також пунктирною лінією нанесена величина максимального

руйнівного навантаження при зрушенні й розтяганні, отриманих у ході випробувань у рамках першого етапу дослідження.

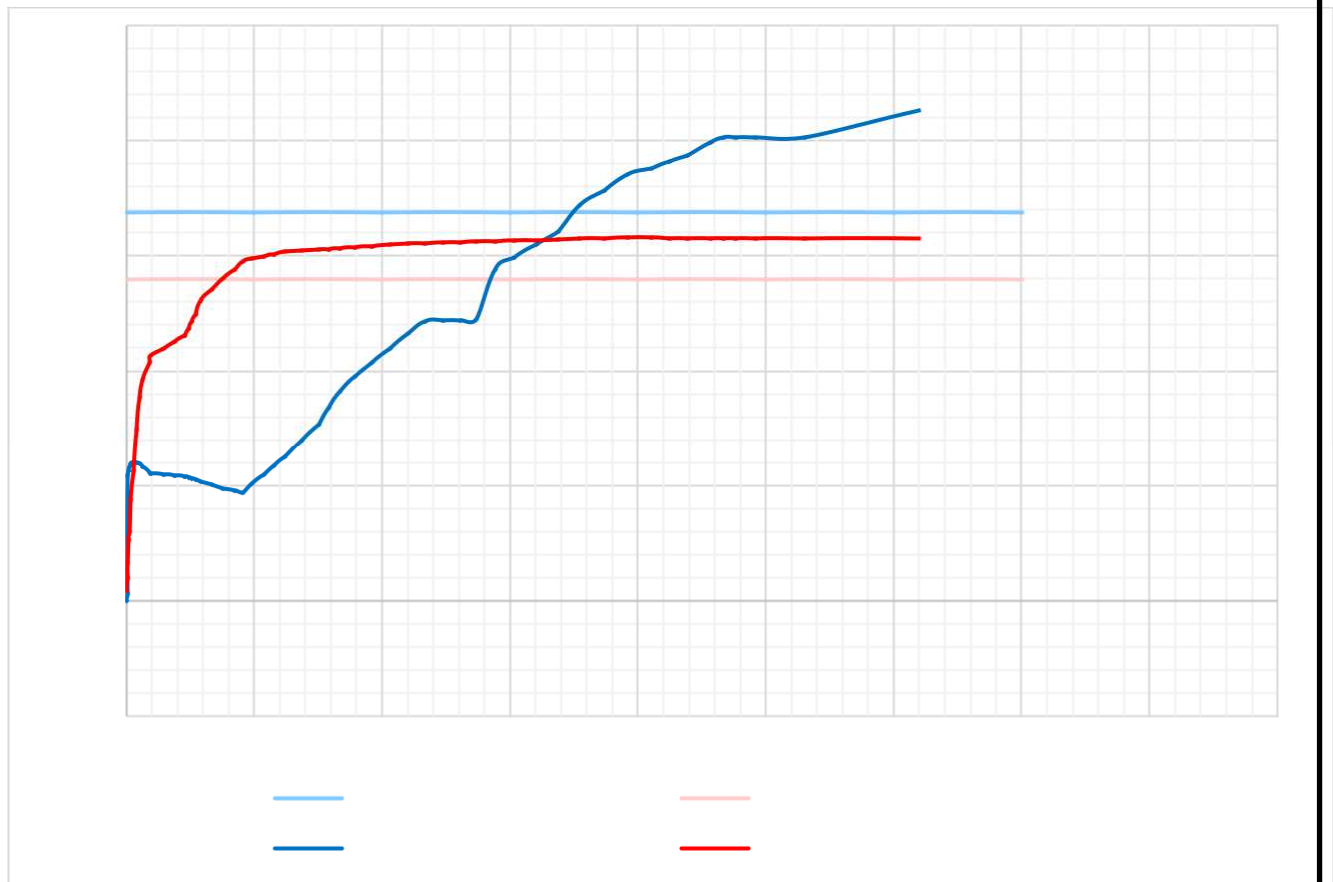


Рисунок 65 – Графік зміни внутрішніх зусиль у стрижні дюбеля

Балкові елементи, що моделюють стрижень дюбеля, у процесі розрахунків випробували на собі зусилля, що перевищує опір дюбеля, зафіксоване в натурних випробуваннях (на 11% для зсуву й на 21% для розтягу). Дана розбіжність може бути обумовлена прийнятими допущеннями при моделюванні елементів і завданні їх силових характеристик.

Незважаючи на зазначені відмінності, варто відзначити, що по основних параметрах моделювання здвигового випробування упору запропонований спосіб дає гарну збіжність із результатами експерименту: у таблиці 15 зіставлені дані по навантаженню, відповідні до піддатливості упорів на кожному кроці навантаження. Середня різниця між результатами

моделювання із серією X-150P-1 – 2%; із серією X-150P-2 – 5%; із серією X-150P-3 – 14%.184

Таблиця 15 Зіставлення результатів моделювання з результатами експерименту

Переміщення, мм	M1, навантаження	X-150P-1		X-150P-2		X-150P-3	
		Навантаження	Різниця	Навантаження	Різниця	Навантаження	Різниця
0,00	,00	,89	47%	2,56	61%	4,07	75%
0,01	2,00	2,99	33%	2,73	27%	6,49	69%
0,01	3,50	3,70	5%	6,55	47%	8,21	57%
0,02	5,00	4,68	-7%	7,44	33%	9,83	49%
0,03	9,00	5,94	-51%	8,80	-2%	12,59	29%
0,04	10,50	7,37	-42%	10,09	-4%	15,27	31%
0,06	12,75	10,50	-21%	12,80	0%	25,68	50%
0,08	15,00	13,61	-10%	15,44	3%	26,54	43%
0,10	18,70	16,33	-14%	18,09	-3%	27,33	32%

					КАУ 24. ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

0,13	20,40	18,91	-8%	20,78	2%	28,19	28%
0,18	24,10	22,37	-8%	24,65	2%	29,56	18%
0,19	24,54	23,31	-5%	25,27	3%	29,83	18%
0,29	26,16	27,07	3%	28,85	9%	32,01	18%
0,38	27,57	29,25	6%	3,18	12%	33,49	18%
0,45	27,79	30,70	9%	32,58	15%	34,68	20%
0,49	28,06	3,32	10%	33,09	15%	35,18	20%
0,51	28,33	3,62	10%	33,35	15%	35,43	20%
0,54	29,99	32,08	7%	33,66	11%	35,83	16%
0,58	30,60	32,59	6%	34,05	10%	36,31	16%
0,67	3,91	33,72	5%	34,97	9%	37,30	14%
0,76	33,14	34,82	5%	35,90	8%	38,06	13%
0,85	34,22	35,88	5%	36,70	7%	38,73	12%
0,91	34,91	36,58	5%	37,23	6%	39,18	11%
0,98	35,61	37,29	5%	37,73	6%	39,39	10%

					КАУ 24. ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

1,08	36,44	38,20	5%	38,37	5%	40,25	9%
1,16	37,17	38,98	5%	38,87	4%	40,77	9%
1,24	37,90	39,80	5%	39,37	4%	4,33	8%
1,37	38,93	40,92	5%	40,15	3%	42,19	8%
1,50	39,90	4,85	5%	40,87	2%	42,91	7%
1,58	40,35	42,34	5%	4,33	2%	43,32	7%
1,67	40,80	42,83	5%	4,80	2%	43,80	7%
1,79	4,95	43,31	3%	42,31	1%	44,37	5%
1,92	42,43	43,85	3%	42,87	1%	45,01	6%
2,06	42,90	44,41	3%	43,30	1%	45,12	5%
2,20	43,37	44,97	4%	43,70	1%	45,16	4%
2,34	43,84	45,43	3%	44,10	1%	45,19	3%
2,48	44,32	45,87	3%	44,44	0%	45,16	2%
2,61	44,54	46,19	4%	44,74	0%	45,12	1%

					КАУ 24. ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

2,74	44,37	46,48	5%	45,03	1%	45,09	2%
2,88	44,63	46,72	4%	45,36	2%	45,05	1%
3,03	44,10	46,95	6%	45,67	3%	45,02	2%
3,21	44,61	47,15	5%	45,97	3%	44,98	1%
3,37	44,65	47,27	6%	46,20	3%	44,95	1%
3,54	44,69	47,39	6%	46,42	4%	44,91	0%
3,74	44,73	47,50	6%	46,63	4%	44,88	0%
3,92	44,77	47,59	6%	46,82	4%	44,84	0%
4,10	44,81	47,66	6%	46,97	5%	44,81	0%
4,25	44,85	47,69	6%	45,93	2%	44,77	0%
4,39	44,88	47,70	6%	44,88	0%	44,35	-1%
4,57	44,92	47,73	6%	43,83	-2%	43,93	-2%
4,67	44,96	47,74	6%	42,78	-5%	43,51	-3%
4,77	45,00	47,72	6%	4,73	-8%	43,08	-4%
4,92	45,04	46,15	2%	40,68	-11%	42,66	-6%

					КАУ 24. ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

5,30	45,08	45,37	1%	39,63	-14%	42,24	-7%
6,20	45,00	44,58	-1%	38,58	-17%	4,40	-9%

Беручи до уваги гарну збіжність результатів розрахунків чисельної моделі зі здвиговими випробуваннями, її можна використовувати для подальшого вивчення роботи кутових анкерних упорів при інших конфігураціях вузла об'єднання.

Висновок

Грунтуючись на проведених експериментальних і теоретичних дослідженнях, а також дослідних даних, отриманих іншими авторами, можна зробити наступні висновки про міцність і деформативність кутових анкерних упорів, використовуваних у сталезалізобетонних перекриттях з монолітними залізобетонними плитами, улаштованими по знімній і незнімній опалубці зі сталевго профільованого настилу:

Згідно отриманим новим експериментальним даним, кутові упори відчують складний напружено-деформований стан, обумовлений особливостями розподілу сил, що зрушують, по контактній поверхні упорів, їх геометрією й властивостями дюбельних з'єднань. Кутові упори в складі сталезалізобетонних перекриттів під впливом сил у шві об'єднання випробовують комбінований вплив. Величина розтягу й здвигу залежить від висоти анкерного упору, його орієнтації щодо вектора сил і наявності профільованого настилу в складі перекриття.

Застосування профільованого настилу як незнімної опалубки зі співвідношенням ширини гофри до висоти $b_0/h < 2,35$ у загальному випадку впливає на несучу здатність і деформативність конструкції об'єднання: за результатами випробувань окремих зразків було зафіксоване зниження

					КАУ 24. ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата			

розрахункового опору упорів зрушенню на 21-47% і зниження деформативності на 5-17% стосовно результатів випробувань упорів у плитах без профільованого настилу.

Існуюча методика розрахунків сталезалізобетонних перекриттів, має ряд обмежень, що знижує ефективність використання силових властивостей матеріалів при проектуванні. За результатами проведеного дослідження запропонована методика, що враховує деформативні властивості кутових упорів, що закріплюються за допомогою дюбелів.

Запропонована методика дозволяє підвищити розрахункову несучу здатність проєктованих конструкцій за рахунок застосування уточненого коефіцієнта редукції kt , що враховує вплив геометрії профільованого настилу на несучу здатність упору.

У рамках апробації методу випробувань кутових упорів на зрушення, запропонована методика статистичної оцінки результатів випробувань.

За результатами випробувань запропонована кінцево-елементна модель фрагмента сталезалізобетонного перекриття на кутовому анкерному упорі, що закріплюється дюбель-цвяхами, для програмного комплексу Ansys Mechanical, що дозволяє надалі замінити зсувні випробування чисельним моделюванням.

Для інженерних розрахунків запропонована методика чисельного моделювання сталезалізобетонного перекриття в програмному комплексі Ліра-Сапр і розроблена програма для ЕОМ, що дозволяє виконати добір кількості кутових анкерних упорів, необхідних для забезпечення спільної роботи частин сталезалізобетонного перекриття.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

7. Охорона праці

7.1 Опоряджувальні роботи

Штукатурні роботи. Основні причини травматизму при штукатурних роботах включають падіння з висоти, обвалення лісів, риштування, колисок, а також шкідливий вплив вапна та інших хімічних речовин. У зимовий період, якщо неможливо використовувати систему опалення, приміщення сушать за допомогою спеціальних нагрівальних приладів. Заборонено використовувати мангали, бочки або інші ємності з вугіллям, що виділяють продукти згоряння. Робітники не повинні перебувати в таких приміщеннях більше 3 годин на день.

Малярні роботи. До шкідливих факторів належать виділення пилу під час змішування сухих матеріалів з оліфою і шліфування поверхонь, а також виділення речовин і газів під час висихання. Для приготування малярських сумішей використовують приміщення з вентиляцією. Роботи всередині приміщень слід виконувати тільки з міцно встановлених інвентарних риштувань, починаючи з висоти 1,1 м від рівня перекриття чи землі. Малярні роботи не можна виконувати одночасно на двох рівнях без захисного настилу. Під час роботи в приміщеннях вікна повинні бути відчинені, але без протягів. У свіжопофарбованих приміщеннях не можна перебувати більше 4 годин, курити чи використовувати відкритий вогонь. Робітники, що піддаються впливу шкідливих речовин, мають проходити медичний огляд кожні три місяці. При шліфуванні та підготовці поверхонь використовують захисні окуляри і шоломи.

Лицювальні роботи. Для безпеки важлива правильна організація робіт та справність лісів і риштувань. Обробку каменів і інших матеріалів слід виконувати в окремих огорожених зонах, розташованих не менше ніж за 3 метри одна від одної. Робітників забезпечують захисними окулярами та рукавицями.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Скляні роботи. Для запобігання порізам і травмам важлива правильна організація перенесення, нарізки та монтажу скла. Перед початком робіт перевіряють міцність і справність віконних рам. Заборонено різати скло, принесене з морозу, а виконання скляних робіт на декількох ярусах без огорожень не допускається. При свердлінні отворів у склі використовують захисні окуляри, а свердла змащують скипідаром.

7.2 Вказівки щодо охорони навколишнього середовища

Містобудівні проекти розробляються з урахуванням збереження і покращення ландшафту та охорони природних ресурсів території. При створенні технологій будівництва впроваджують рішення, які мінімально змінюють рельєф і мають лише тимчасовий вплив на довкілля, з можливістю повного відновлення майданчика до природного стану. Це включає:

- зняття та збереження ґрунтового шару для подальшого використання;
- використання збірно-розбірних покриттів автодоріг;
- монтаж із застосуванням безвідхідних технологій;
- мінімізацію площ будівельних майданчиків.

Земельні ділянки, які займають тимчасові споруди, підлягають рекультивації. Рекультивація таких ділянок повинна проводитися в ході будівництва або, якщо це неможливо, не пізніше одного року після його завершення.

Будівництво має відповідати вимогам біоархітектури, що передбачає застосування природних матеріалів, таких як дерево, пісок, глина, вапно, кам'яні породи та натуральні барвники. Використання пластимасу обмежують, а застосування металу зводять до мінімуму. Споруди розташовують у місцях, де відсутні шкідливі ґрунтові води та сильні магнітні чи електромагнітні поля. Застосування техніки, що забруднює середовище або споживає значну кількість електроенергії, також обмежується.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Література

1. Peleska, K. Partial connection of steel and concrete composite beams with shear connectors [Текст] / K. Peleska // Proceeding of the Conference Eurosteel, Прага. – 1999. – С. 577-580.
2. Zhang, S. Behaviour and Design of Hilti X-HVB Shear Connectors in Composite Beams [Текст] / S. Zhang, X. Xie. – Harbin: School of Engineering, Harbin Institute of Technology, 2003. – 126 с.
3. New types of shear connectors with powder-actuated fasteners: report / Fontana M., Bärtschi R. – Цюрих: Institute of Structural Engineering Swiss Federal Institute of Technology, 2002. – 89 с.
4. Lungershausen, H. Zur Schubtragfähigkeit von Kopfbolzendübeln [Текст]: Mitteilung №88-7. – Bochum: Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Universität, 1988. – 63 с.
5. Johnson, R.P. Resistance of Stud Shear Connectors in Troughs of Profiled Sheetting: research report CE 55 [Текст] / – Уорвік: University of Warwick, – 1997. – 210 с.
6. Grant, J.A. Composite Beams with Formed Steel Deck [Текст] / J.A. Grant, J.W. Fisher, R.G. Slutter // Engineering Journal AISC. – 1977. – №14(1). – С. 24-43.
7. 112. Hawkins, N. Seismic response of composite shear connections [Текст] / N. Hawkins, D. Mitchell // Journal Structural Engineering – 1984. – №110. – С. 72-83.
8. Айрумян, Е.Л. Дослідження роботи монолітної залізобетонної плити за профільованим сталевим настилом при поперечному згині [Текст] / Е.Л. Айрумян, А.В. Боярський // Промислове та цивільне будівництво. - 2007. - № 10. - С. 30-31.

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ

1. Постановка проблеми
2. Особливості роботи сталезалізобетонних конструкцій
3. Експериментальне дослідження міцності й деформативності кутових анкерних упорів
4. Оцінка твердості і деформативності кутових анкерних упорів у монолітних сталезалізобетонних перекриттях без профільованого настилу
5. Чисельне моделювання роботи кутових анкерних упорів у програмному комплексі Ansys Mechanical
6. Результати моделювання й порівняння їх з експериментом
7. Охорона праці
 - 7.1 Опоряджувальні роботи
 - 7.2 Вказівки щодо охорони навколишнього середовища

					КАУ 24. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		