Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ФІРСОВ ПАВЛО МИХАЙЛОВИЧ

УДК 621.792.05:691.588:621.792.4

ДИСЕРТАЦІЯ

КОРОТКОЧАСНА МІЦНІСТЬ ТА НАПРУЖНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН КЛЕЙОВИХ СТАЛЕБЕТОННИХ З'ЄДНАНЬ НА АКРИЛОВИХ МОДИФІКОВАНИХ КЛЕЯХ

05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

19 – Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидат технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело П.М. Фірсов

Науковий керівник: к.т.н., доцент
Золотов Сергій Михайлович

Харків – 2018 рік

АНОТАЦІЯ

Фірсов П.М. Короткочасна міцність та напружено-деформований стан клейових сталебетонних з'єднань на акрилових модифікованих клеях. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди (192 Будівництво та цивільна інженерія). – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2018.

Дисертація присвячена улаштуванню клейових з'єднань сталі з бетоном, без застосування анкерування, шляхом безпосередньої приклейки вузлів кріплення та опорних частин виробничого устаткування до бетонних поверхонь конструкцій.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання дослідження, представлено наукову гіпотезу, новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію основних результатів дисертації, кількість публікацій, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі виконано критичний аналіз найбільш значущих робіт у галузі теоретичних і експериментальних досліджень з розробки, підсилення, реконструкції та відновлення бетонних і залізобетонних конструкцій за допомогою застосування різноманітних клейових полімерних розчинів. Детально проаналізовано існуючу європейську та вітчизняну нормативну документацію з технічних допусків на установку анкерів, а також розповсюджені способи кріплення технологічного обладнання, внаслідок чого виявлений ряд недоліків, які має анкерний метод. Для розроблення конструкцій кріплень виробничого устаткування до бетонних і залізобетонних виробів без застосування анкерування, відібрано найбільш прийнятні уявлення, які дають змогу розкрити дійсний механізм улаштування клейових з'єднань сталі з бетоном шляхом поверхневого склеювання.

Висунуто робочу гіпотезу, що в будівельній галузі, в якості альтернативи анкеруванню, має місце безанкерний метод клейового кріплення промислового обладнання, інженерних ліній та комунікацій. Улаштування даного типу з'єднань особливо актуально у збірних та монолітних залізобетонних покриттях будівель і споруд, де категорично не рекомендується проводити анкерувальні роботи, а також у густоармованих залізобетонних конструкціях. При монтажі виробничого устаткування даним методом значно скорочуються трудові витрати для улаштування з'єднань, розбирання бетону, буріння свердловин, улаштування хомутів тощо, чим досягається значна економія грошових коштів і трудовитрат.

Дослідження дії силових навантажень на кріпильні вузли технологічного обладнання та інженерних ліній обумовило основні показники міцності і деформативності клейових сталебетонних з'єднань. Визначено, що безанкерні кріплення сприймають зусилля відриву (розтягу), зусилля зсуву (зрізу), сумісну дію зусиль відриву та зсуву, сумісну дію згинального моменту та зусиль зсуву, сумісну дію крутного моменту та зусиль зсуву, а також дію центрально-докладених та позацентрово-докладених зусиль. Загальний аналіз конструкцій кріплення технологічного устаткування показав наявність впливу різного виду зусиль на міцність клейового сталебетонного безанкерного з'єднання, а також залежність міцності кріпильного вузла від геометричних параметрів з'єднання (товщини сталевої пластини, висоти клейового прошарку, площі приклеювання тощо) і ряду інших технологічних показників.

У другому розділі наведено теоретичне обґрунтування та методика досліджень міцності клейових сталебетонних з'єднань при впливі різних видів навантажень. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень з визначення показників короткочасної міцності клейових сталебетонних з'єднань при дії центрально-докладених зусиль, а також дії різних видів позацентрово-докладених зусиль.

Для оцінки напружено-деформованого стану досліджуваного клейового сталебетонного з'єднання, розроблена постановка осесиметричної плоскої задачі теорії пружності в циліндричній системі координат з урахуванням тришарової моделі, шари якої пов'язані між собою умовами безперервності напружень та деформацій при осесиметричному довільному навантаженні. Обраний необхідний метод рішення даної осесиметричної задачі, який полягає у визначенні компонентів тензора напружень і зміщення через функцію напружень (функцію Ері) з урахуванням прийнятих граничних умов.

На базі сучасних принципів енергетичної раціоналізації запропонована енергетична оцінка критерію напружено-деформованого стану пропонованого клейового матеріалу під безанкерне з'єднання сталі з бетоном. Проведено натурні лабораторні випробування зразків пропонованого адгезиву під впливом зовнішніх навантажень (розтяг, стиск, зсув) і побудовано відповідні графіки σ-ε.

У третьому розділі дисертаційної роботи приведено результати експериментальних досліджень міцності клейових сталебетонних з'єднань при впливі різних видів навантажень. Проведено експериментальні дослідження з визначення показників короткочасної міцності клейових сталебетонних з'єднань при дії центрально-докладених зусиль, а також дії різних видів позацентрово-докладених зусиль. В процесі випробувань визначалися руйнуючі зусилля, характер руйнування зразків, а також розрахунковий опір клейового сталебетонного з'єднання. Проведено розрахунок за першим граничним станом. Для отримання достовірних статистичних показників кількість зразків для всіх видів випробувань визначалась в залежності від прийнятої вірогідності отримання результатів, тобто для побудови кривих розподілу показника міцності прийнята вибірка з 67 зразків. Обробка результатів експерименту виконана із застосуванням методу сум математичної статистики. Руйнування всіх зразків досліджуваних з'єднань мало когезійний характер, тобто відбувалося по бетону.

Разом з експериментальними випробуваннями зразків досліджувався вплив конструктивних характеристик і технологічних параметрів на міцність клейових кріплень. Зроблено висновки, що на міцність клейового кріплення, на границі бетон-сталь, при дії центрально-докладених зусиль відриву істотний вплив мають:

- умовна жорсткість сталевих опорних пластин, Δ (міцність клейового кріплення зменшується в три рази при зменшенні значень Δ від 0,225 до 0,06);

- фізико-механічні властивості бетону (зі збільшенням міцності бетонів в межах їх класів від С8/10 до С32/40 міцність кріплення збільшується в 2 рази, при цьому зростає і коефіцієнт однорідності з'єднання);

- віддалення сталевих елементів кріплення від грані будівельної конструкції, від 0 до 2,5 її розміру в плані, призводить до збільшення міцнісних показників з'єднання в 2-3 рази;

- збільшення площі пластин з 64 $см^2$ до 225 $см^2$ призводить до зменшення міцнісних показників клейового кріплення практично в 2 рази.

Доведено, що висота клейового шва не має істотного впливу на міцність клейового сталебетонного з'єднання. Міцність з'єднання (середнє значення при всіх величинах $\delta_{кл}$ коливається в діапазоні 3,18-3,22 МПа) та коефіцієнт однорідності майже не змінюються зі збільшенням висоти клейового шару.

Визначено, що суттєвий вплив на міцність з'єднань сталь-клей-бетон мають способи очищення бетонної поверхні під склеювання (при цьому найбільш високі міцнісні показники спостерігаються при якісному механічному очищенні бетонної поверхні конструкції з використанням абразивного диску), а також сторона бетонування конструкції, до якої приклеюється сталевий вузол кріплення (при цьому міцність з'єднання збільшується на 55-60% у разі приклейки на низ бетонування, ніж у випадку приклейки на верх бетонування).

За результатами випробувань зразків клейових сталебетонних з'єднань на дію різних видів позацентрово-докладених зусиль, зроблено висновки, що на

міцність клейового кріпильного вузла, на границі бетон-сталь, істотний вплив має вид докладеного навантаження, а саме:

- міцність кріплення при дії позацентрово-докладених зусиль зменшується практично в 2,7 рази при підвищенні величини ексцентриситету докладання зусилля відриву в границях від $e = 0$ до $e = 0{,}4a$;

- при сумісній дії зусиль відриву та зсуву показники міцності клейового кріплення збільшуються майже в 2 рази зі збільшенням кута докладання зусилля відриву;

- міцність кріплення при сумісній дії згинального моменту та зусиль зсуву зменшується зі збільшенням величини ексцентриситету докладання зусилля в межах від $e = 0$ до $e = a$ майже в 11 раз;

- при сумісній дії крутного моменту та зусиль зсуву показники міцності клейового кріплення зменшуються майже в 7 раз зі збільшенням величини плеча докладання зусилля з $l = 0$ до $l = 3a$.

В процесі визначення витривалості клейових сталебетонних з'єднань при багаторазово повторюваних навантаженнях передбачалося встановити можливість використання коефіцієнта ε_b (коефіцієнт для визначення розрахункового опору бетону на витривалість) в разі розрахунку клейових сталебетонних з'єднань на витривалість. Експериментально доведено, що при багаторазово повторюваних навантаженнях, границя витривалості клейових сталебетонних з'єднань, при використанні акрилових модифікованих композицій, визначається границею витривалості бетону та не залежить від коефіцієнту асиметрії циклу повторюваних напружень ρ_b. Можливий на практиці розкид величин висоти клейового шва практично не позначається на межі витривалості кріплень сталь-клей-бетон.

В процесі склеювання сталі з бетоном на вертикальних поверхнях залізобетонних конструкцій, розроблено графіки деформативності клейового шва з'єднання при дії короткочасних навантажень. Визначено, що повзучість клейового шару має загасаючий характер і стабілізується протягом 10 годин.

У четвертому розділі, з метою верифікації отриманих результатів експериментальних досліджень, проведено чисельне моделювання експерименту у спеціалізованих програмних комплексах ЛІРА-САПР та ANSYS Academic Student. Аналіз напружено-деформованого стану з'єднання проведено методом скінченних елементів з урахуванням фізичної нелінійності деформування матеріалів з'єднання. Застосовано покроково-ітераційний метод лінеаризації, тобто загальне навантаження було розбито на 20 кроків. Оцінка міцності з'єднання проводилась згідно четвертої теорії міцності (теорія енергії формозмінення). Результати чисельного моделювання з урахуванням фізичної нелінійності деформації співпадають з проведеним статичним розрахунком на 90-95 % (в залежності від докладеного руйнуючого зусилля) та підтверджують висновки про надійну роботу клейового безанкерного з'єднання сталі з бетоном при впливі різних видів навантажень. Розроблена модель дозволяє виконувати розрахунок і аналіз напружено-деформованого стану клейових сталебетонних з'єднань з будь-якою вихідною геометрією кріплення та характеристиками матеріалів з'єднання.

У п'ятому розділі, на підставі експериментальних досліджень, наведено рекомендації щодо проектування конструкцій кріплення та з розрахунку клейових сталебетонних з'єднань. На основі детального аналізу наведених конструкцій кріплення промислового устаткування та технологічних ліній методом поверхневої приклейки опорних сталевих вузлів ліній, а також зусиль, які впливають на клейові сталебетонні з'єднання, складено їх основні розрахункові схеми. Розроблено метод інженерного розрахунку безанкерних клейових сталебетонних конструкцій, а також надано рекомендації щодо технології улаштування вказаних кріплень акриловими модифікованими композиціями.

Розрахована ситуативна задача, в рамках якої порівнювались метод стандартного анкерування, метод хімічного анкерування з використанням капсул марки "Hilty" та безанкерний метод на акрилових модифікованих

клейових композиціях. На підставі даного розрахунку сформульовані висновки, які свідчать про суттєві техніко-економічні переваги використання безанкерного клейового методу кріплення сталі з бетоном. Застосування даного методу кріплення, в порівнянні зі стандартним та хімічним анкеруванням, дозволяє істотно знизити трудомісткість, а також загальну вартість будівельно-монтажних робіт (в середньому на 65-70 %).

Приведено відомості щодо науково-промислових впроваджень основних положень дисертаційної роботи на ряді промислових підприємств з відповідно розрахованим техніко-економічним ефектом, а також відомості щодо впровадження результатів досліджень в навчальний процес Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова при підготовці бакалаврів за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” у складі нормативних дисциплін.

Ключові слова: клейове сталебетонне з’єднання, напружено-деформований стан, склеювання, короткочасна міцність, навантаження, акрилові модифіковані композиції, несуча здатність, відрив.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях та у виданнях що включені до наукометричних баз:

1. Золотов М.С. Влияние конструктивних факторов крепежного узла на прочность клеевого соединения безанкерного крепления / М.С. Золотов, П.М. Фирсов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 30. – С. 127-134. *(Особистий внесок - виконання експериментальних досліджень: розроблення та виготовлення зразків кріпильних вузлів, виконання замірів, аналіз результатів)*.

2. Золотов С.М. Адгезионная прочность безанкерного соединения сталь-бетон на модифицированных акриловых клеях при равномерном и неравномерном отрыве / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Збірник наукових праць

“Науковий вісник будівництва”. – Харків: ХНУБА, 2015. – Вип. № 4 (82). - С. 102-106. *(Особистий внесок - виконання експериментальних досліджень: розроблення та виготовлення зразків кріпильних вузлів, виконання замірів, аналіз результатів)*.

3. Золотов С.М. Реологические исследования и определение адсорбции модифицированных наполнителей метилметакрилата / С.М. Золотов, П.М. Фирсов, К.А. Клиценко // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 161. - С. 157 -169. *(Особистий внесок - проведення лабораторних досліджень з визначення технологічних властивостей наповнювачів метилметакрилату і підбору оптимального складу для подальшої модифікації акрилових композицій)*.

4. Фирсов П.М. Экспериментальные исследования кратковременной прочности сталеклеевого безанкерного соединения на акрилових модифицированных композициях [Текст] / П.М. Фирсов // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 167. - С. 4 -17.

5. Золотов С.М. Витривалість модифікованих клейових з’єднань при багаторазово повторюваних динамічних навантаженнях / С.М. Золотов, П.М. Фірсов // Збірник наукових праць “Науковий вісник будівництва”. – Харків: ХНУБА, 2018. – Вип. № 1 (91). - С. 185-192. - DOI: 10/29295/2311-7257-2018-91-1-185-192. *(Особистий внесок – розробка методики з випробування клейових з’єднань на багаторазово повторювані динамічні навантаження, аналіз результатів експериментальних досліджень)*.

Праці апробаційного характеру:

6. Фирсов П.М. Расчетная модель клеевого соединения сталь-бетон / П.М. Фирсов // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції “Будівництво, реконструкція і відновлення будівель міського господарства”, (25 листопада-25 грудня 2014 г., Харків). – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2014. – С. 56-61.

7. Firsov P.M. Analysis of various constructive factors influencing the strength of glued steel-concrete joints without anchors / P.M. Firsov // Forum for young researchers “Young researchers in the global world: vistas and challenges”, (25-26 of May 2015, Kharkiv). – Kharkiv: O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 2015. – P. 156-159.

8. Золотов С.М. Адгезионная прочность клеевых соединений на акриловых модифицированных клеях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Materials of International scientific and practical conference “Perspective trends in scientific research”, (17-22 of October 2015, Bratislava, Slovak Republic). – Bratislava, Slovak Republic: Academic Society of Michal Baludansky, 2015. – Vol. 2 – P. 150-151. *(Особистий внесок - виконання експериментальних досліджень: розроблення та виготовлення зразків кріпильних вузлів, виконання замірів, аналіз результатів)*.

9. Золотов С.М. Исследование напряженно-деформированного состояния соединения сталь-бетон на акриловых клеях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Матеріали VII Міжнародної наукової конференції “Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд”, (20-21 жовтня 2015 р., Харків). – Харків: ХНУБА, 2015. – С. 109-111. *(Особистий внесок - виконання натурних досліджень)*.

10. Фирсов П.М. Прочность и деформативность акриловых модифицированных композиций / П.М. Фирсов // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”, (25-26 листопада 2015 р., Тернопіль). – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – С. 79-80.

11. Фирсов П.М. Взаимосвязь адгезионной и когезионной прочности со структурой акрилового клея / П.М. Фирсов // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції, присвяченої 95-річному ювілею ЛНАУ, (8-9 ноября 2016 г., Харьков). – Харків: ЛНАУ, 2016. – С. 55-57.

12. Firsov Pavlo. Strength and deformation of acrylic modified glues / Pavlo Firsov // Proceedings of International scientific and practical conference “Build Master Class”, (16-18 of November 2016, Kyiv). – Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016. - p. 126-127.

13. Фирсов П.М. Составы улучшенных модифицированных акрилових композиций / П.М. Фирсов // Зб. тез доповідей звітної наук.-практ. конференції ЛНАУ, (21-23 лютого 2017 р., Харків). – Харків: ЛНАУ, 2017. – С. 76-77

14. Фирсов П.М. Проектирование безанкерного клеевого сталебетонного соединения на акрилових модифицированных композициях / П.М. Фирсов // Тези доповідей VI Міжнародної наук.-техн. конференції “Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті”, (19-21 квітня 2017 р., Харків). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 170-171.

15. Фирсов П.М. Влияние способов подготовки поверхности бетона к склеиванию на акрилових улучшенных композициях / П.М. Фирсов // Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції “Актуальні проблеми інженерної механіки”, (16-19 травня 2017 р., Одеса). – Одеса: ОДАБА, 2017. – С. 160-162.

16. Золотов С.М. Визначення характеристик міцності сталеклейових з’єднань при багаторазових навантаженнях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов, Хамзе Мухамад // Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції “Ефективні технології в будівництві”, (28-29 березня 2018 р., Київ). – Київ: КНУБА, 2018. – С. 89-91. *(Особистий внесок – розробка методики з випробування клейових з’єднань на багаторазово повторювані динамічні навантаження, аналіз результатів експериментальних досліджень)*.

17. Фірсов П.М. Визначення характеристик міцності клейового шва вертикального сталебетонного з’єднання при дії зусиль зсуву та відриву / П.М. Фірсов // Збірник матеріалів звітної науково-практичної конференції ЛНАУ, (20-23 лютого 2018 р., Харків). – Харків: ЛНАУ, 2018 – С. 79-82.

Публікації, що додатково відображають матеріали дисертації:

18. Золотов С.М. Анализ прочностных характеристик сталеклеевых соединений на модифицированных акриловых клеях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. - Kosice, Slovak Republic: Academic Society of Michal Baludansky, 2015. - Vol. 3. – P . 143-147. *(Особистий внесок - виконання експериментальних досліджень: розроблення та виготовлення зразків кріпильних вузлів, виконання замірів, аналіз результатів)*.

Патенти:

19. Патент на корисну модель № 109770. Україна. МПК C08L 33/12 (2006.01). Акрилова композиція / С.М. Золотов, П.М. Фірсов, В.К. Жданюк, П.А. Білим; власник ХНУМГ імені О.М. Бекетова. - № u 2016 01208; Заявл. 12.02.2016; Опубл. 12.09.2016, Бюл. № 17. – 6 с. *(Особистий внесок - патентний пошук, проведення досліджень, формулювання висновків)*.

20. Патент на корисну модель № 120256. Україна. МПК(2017.01) C08L 33/12 (2006.01), C09J 4/00, C08K 5/17 (2006.01), C04B 15/06 (2006.01). Акрилова композиція / С.М. Золотов, П.М. Фірсов, В.К. Жданюк, П.А. Білим; власник ХНУМГ імені О.М. Бекетова. - № u 2017 04402; Заявл. 03.05.2017; Опубл. 25.10.2017, Бюл. № 20. – 6 с. *(Особистий внесок - патентний пошук, розробка складу, проведення досліджень)*.

21. Патент України на винахід № 117314. Україна. МПК C08L 33/12 (2006.01), C04B 24/24 (2006.01), C04B 111/72 (2006.01). Акрилова композиція / С.М. Золотов, П.М. Фірсов, В.К. Жданюк, П.А. Білим; власник ХНУМГ імені О.М. Бекетова. - № a 2017 04337; Заявл. 03.05.2017; Опубл. 10.07.2018, Бюл. № 13. – 6 с. *(Особистий внесок - патентний пошук, розробка складу, проведення досліджень)*.

ABSTRACT

Firsov P.M. Short-term strength and stress-deformed condition of glued steel-concrete joints on acrylic modified adhesives. – Qualification scientific work on the rights of a Manuscript.

The dissertation for the scientific degree of a candidate of technical sciences (Ph.D. in Engineering Science) on the specialty 05.23.01- building structures, buildings and constructions (192 Construction and Civil Engineering). – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2018.

The thesis is devoted to the arrangement of glued steel-concrete joints, without the use of anchoring, by directly gluing the technological equipment and communications fastening units or supporting parts to the concrete structures surfaces.

In the introduction, a vitality of the subject of dissertation was substantiated, the research objective and the tasks were formulated, the scientific hypothesis was suggested, and the novelty and practical value of obtained results were described. The information on the approbation of key results of the thesis, number of publications, structure and scope of work has been given.

The first section deals with the critical analysis of the most important scientific papers in the field of theoretical and experimental research on the development, reinforcement, reconstruction and restoration of concrete and reinforced concrete structures using various adhesive polymer compositions. The existing European and national normative documentation on technical tolerances for the installation of anchors, as well as common methods of fastening technological equipment, have been analyzed in detail, as a result of which a number of anchor method defects are revealed. For the technological equipment fastening design developing to concrete and reinforced concrete structures without the use of

anchoring, the most acceptable representations are selected, which allow to reveal the actual mechanism of arrangement of glued steel-concrete joints by surface gluing.

A working hypothesis has been put forward that in the construction industry, as an alternative to anchoring, there is a non-concrete method of adhesive fastening of industrial equipment, engineering lines and communications. The arrangement of this type of connections is especially important in prefabricated and monolithic reinforced concrete coatings of buildings and structures, where it is categorically not recommended to conduct anchoring works, as well as in thickly reinforced concrete structures. Technological devices installation by without-anchor method will significantly reduce labor costs for the joints arranging, concrete disassembling, wells drilling, clams arranging, etc., which achieves significant savings in money and labor.

Force loads effect study on the technological equipment and engineering lines fastening joints caused the main indicators of strength and deformability of glued steel-concrete connections. It has been determined that without-anchor joints perceive the effort of separation (stretching), the shear force (cut), the combined action of separation and shear forces, the combined action of bending moment and shear forces, the combined action of torque and shear forces, as well as the effect of centrally attached and non-central attached efforts. The general analysis of technological equipment fastening designs showed the presence of different types efforts influence on the strength of the adhesive without-anchor joints, as well as the fastening unit strength dependence on the geometric parameters of the joint (steel plate thickness, adhesive layer height, gluing area, etc.) and a number of other technological indicators.

In the second section the theoretical substantiation and research methods of the glutinous steel-concrete strength under the loads different types influence are given. The method of experimental researches carrying out on determination of short-term strength indicators of glued steel-concrete joints under the centrally attached efforts influence, as well as the actions of various types of non-central attached efforts are developed.

To research the stress-strain state of the investigated glued steel concrete joint, the formulation of an elasticity theory axisymmetric plane problem in a cylindrical coordinates system is considered, taking into account the three-layer model, the layers of which are connected with the conditions of stresses and deformations continuity under an axially symmetric random load. The necessary method of solving this axisymmetric problem is chosen, which consists in determining the components of the stress tensor and displacement through the stress function (Airy function), taking into account the accepted boundary conditions.

On the basis of energy rationalization modern principles, an energy assessment of the proposed adhesive material stress-strain state criterion for the without-anchor connection of steel with concrete is proposed. The proposed adhesive samples laboratory tests under the influence of external stresses (tensile, compression, shear) were performed and the corresponding graphs σ-ε were constructed.

In the third section of the dissertation, the results of experimental studies of the glued steel-concrete joints strength under the influence of different loads types are presented. Experimental researches have been carried out to determine the indicators of glued steel-concrete short-term strength under the influence of centralized efforts, as well as the actions of various types of non-central efforts. During the tests, destructive efforts and the adhesive joints samples destruction nature were determined, as well as the design resistance of the glued steel-concrete fastening. This tests allowed to calculate the first limiting state. In order to obtain reliable statistical data, the number of samples for all types of tests was determined depending on the accepted probability of obtaining results, so, for the strength index distribution curves construction, a number of 67 samples was taken. The experiment results processing is carried out using the mathematical statistics sum method. The destruction of all glued joints samples was of a cohesive nature, it occurred on a concrete.

Together with the samples experimental tests, the construction characteristics and technological parameters influence on the strength of adhesive bonding was

investigated. It is proved that on the adhesive fastening strength, on the boundary of concrete-steel, under the influence of centrally attached separation efforts, significant impact have:

- conditional stiffness of steel bearing plates, Δ (the adhesive joint strength is reduced by three times with decreasing values of Δ from 0,225 to 0,060);

- an increase of steel plates area from 64 cm^2 to 225 cm^2 leads to the adhesive joint strength decrease almost 2 times;

- removal of steel bearing elements from the construction structure edging, from 0 to 2,5 of its size, leads to the adhesive joint strength increase 2-3 times;

- physical and mechanical properties of concrete (with increasing strength of concrete, within their classes from C8/10 to C32/40, the adhesive joint strength increases approximately 2 times, while the homogeneity coefficient of the joint increases as well).

It is proved that the height of the adhesive layer does not have a significant effect on the glued steel-concrete joints strength. The strength and the joint homogeneity coefficient almost do not change with the increase in the height of the adhesive layer.

It has been determined that the significant influence on the glued steel-concrete joints strength have the methods of concrete surface clearing (at the same time, the highest strength parameters are observed in the concrete surface qualitative mechanical purification using abrasive disc), as well as the side of concreting, up to which makes the steel element gluing (with the adhesive joint strength increased by 55-60% in the case of gluing to the concrete bottom, than in the case of gluing to the concrete top).

According to the glued steel-concrete samples tests results on the action of various types of non-centrally attached efforts, it was concluded that the significant impact on adhesive joint strength, on the concrete-steel border, has a the applied loading, namely:

- joint strength under the action of non-centrally attached efforts decreases 2,7 times by increase the separation effort eccentricity magnitude in the boundaries from $e = 0$ to $e = 0{,}4a$;

- with the combined action of separation and shear forces, the index of adhesive joint strength increases by almost 2 times with an increase in the separation effort application angle;

- with the combined action of bending moment and shear forces, the adhesive joint strength decreases with an increase in application force eccentricity magnitude in the range from $e = 0$ to $e = a$ almost 11 times;

- with the combined action of torque moment and shear forces, the adhesive joint strength decreases by almost 7 times with the increase in the application force shoulder size from $l = 0$ to $l = 3a$.

In the process of glued steel-concrete endurance determining in the case of repeated dynamic loads, it was intended to establish the possibility of using the coefficient ε_b (coefficient for determining the concrete resistance to endurance) in the case of steel and concrete gluing joints calculation on durability. It has been experimentally proved that, with repeated dynamic loads, the glued steel-concrete joints endurance limit is determined by the concrete endurance boundary and does not depend on the repetitive stresses asymmetry cycle coefficient ρ_b. The adhesive layer height values spread practically does not affect on the glued steel-concrete joints strength endurance boundary.

In the process of bonding steel with concrete, on the reinforced concrete structures vertical surfaces, adhesive layer deformation graphs are developed under the action of short-term loads. It is determined that the adhesive layer creep has a dampening character and stabilizes for 10 hours.

In the fourth section, in order to verify the experimental research results, a numerical experiment simulation was conducted in the specialized software complexes LIRA-SAPR and ANSYS Academic Student. The joint stress-strain state analysis is carried out by the finite element method, taking into account the materials

deformation physical nonlinearity. Iterative-step method of linearization was applied - the total load was divided by 20 steps. The joint strength assessment was carried out in accordance with the fourth theory of strength (the energy changeover theory). The numerical simulation results, taking into account the materials deformation physical nonlinearity, coincide with the static calculation of 90-95 % (depending on the type of load) and confirm the conclusions about the reliable operation of the glued steel-concrete without-anchor joint under the different types of loads influence. The developed model allows to calculate and analyze the glued steel-concrete joints stress-strain state with any initial mounting geometry and materials characteristics.

In the fifth section, on the basis of conducted experimental research, recommendations on the mounting structures design and the glued steel-concrete joints calculations are given. On the basis of the industrial equipment and technological lines fastening design detailed analysis by the method of bearing steel elements surface gluing, as well as the efforts that affect the glued steel-concrete joints, their basic design schemes are compiled. The method of without-anchor glued steel-concrete structures engineering calculation has been developed, as well as recommendations for the arrangement technology of these fastenings by acrylic modified compositions. The situational problem, comparing the method of standard anchoring, the method of “Hilty” brand capsules chemical anchoring and the without-anchor method on acrylic modified glues compositions, was calculated. On the basis of this calculation were formulated conclusions, which indicate the significant technical and economic benefits of using steel and concrete without-anchor adhesive fastening method. Without-anchor fastening method application, compared with standard and chemical anchoring, can significantly reduce the complexity, as well as the total cost of installation works (an average of 65-70%).

The data on the scientific and industrial implementation of the dissertation work main provisions on a number of industrial enterprises with appropriately calculated economic effect is given. The thesis main provisions are introduced into the educational process of the Theoretical and Structural Mechanics Department and

Building Structures Department of O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, during the bachelors education in specialty 192 “Construction and civil engineering”.

Keywords: glued steel-concrete joint, stress-deformed condidition, gluing, short-term strength, loading, acrylic modified compositions, bearing capacity, separation.

LIST OF PUBLICATIONS ON DISSERTATION TOPIC

Articles in spezialized editions and in the publications included in the scientific-mathematical bases:

1. Zolotov M.S. Vliyanie konstruktivnih faktorov krepezhnogo uzla na prochnost’ kleyevogo soedineniya bezankernogo krepleniya / M.S. Zolotov, P.M. Firsov // Resursoekonomni materiali, konstruktsii, budivli ta sporudi. – Rivne: NUVGP, 2015. – Vip. 30. – S. 127-134. *(Personal contribution – implementation of experimental research: development and manufacturing of fastening joint samples, metering fulfillment, analysis of results)*.

2. Zolotov S.M. Adgezionnaya prochnost’ bezankernogo soedineniya stal’-beton na modificirovannih akrilovih kleyah pri ravnomernom i neravnomernom otrive / S.M. Zolotov, P.M. Firsov // Zbirnik naukovih prats’ “Naukoviy visnyk budivnytstva”. – Kharkiv: KhNUBA, 2015. – Vip. № 4 (82). - S. 102-106. *(Personal contribution – implementation of experimental research: development and manufacturing of fastening joint samples, metering fulfillment, analysis of results)*.

3. Zolotov S.M. Reologicheskie issledovaniya i opredelenie adsorbcii modificirovannih napolniteley metilmetakrilata / S.M. Zolotov, P.M. Firsov, K.O. Klitsenko // Zbirnik naukovih prats’ UkrDUZT. – Kharkiv: UkrDUZT, 2016. – Vip. 161. - S. 157 -169. *(Personal contribution – conducting of laboratory researches on determination of methyl methacrylate fillers technological properties and selection of optimal compositions for further acrylic glues modification)*.

4. Firsov P.M. Eksperimentalnie issledovaniya kratkovremennoy prochnosti stalekleevogo bezankernogo soedineniya na akrilovih modificirovannih kompoziciyah / P.M. Firsov // Zbirnik naukovih prats' UkrDUZT. – Kharkiv: UkrDUZT, 2017. – Vip. 167. - S. 4 -17.

5. Zolotov S.M. Vitrivalist' modificirovannih kleyovih zyednan' pri bagatorazovo povotryuvanih dinamichnih navantazhennyah / S.M. Zolotov, P.M. Firsov // Zbirnik naukovih prats' "Naukoviy visnyk budivnytstva". – Kharkiv: KhNUBA, 2018. – Vip. № 1 (91). - S. 185-192. - DOI: 10/29295/2311-7257-2018-91-1-185-192. *(Personal contribution - development of a method for testing adhesive joints on repeated dynamic loads, experimental research results analysis)*.

Materials testing the results of dissertation research:

6. Firsov P.M. Raschetnaya model' kleyevogo soedineniya stal'-beton / P.M. Firsov // Materiali IV Mizhnarodnoyi naukovo-tehnichoi Internet-konferencii "Budivnitstvo, rekonstrukciya i vidnovlennya budivel' mis'kogo gospodarstva", (25 listopada-25 grudnya 2014 r., Kharkiv). – Kharkiv: KhNUMG im. O.M. Beketova, 2014. – S. 56-61.

7. Firsov P.M. Analysis of various constructive factors influencing the strength of glued steel-concrete joints without anchors / P.M. Firsov // Forum for young researchers "Young researchers in the global world: vistas and challenges", (25-26 of May 2015, Kharkiv). – Kharkiv: O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 2015. – P. 156-159.

8. Zolotov S.M. Adgezionnaya prochnost' kleyevih soedineniy na akrilovih modificirovannih kleyah / S.M. Zolotov, P.M. Firsov // Materials of International scientific and practical conference "Perspective trends in scientific research", (17-22 of October 2015, Bratislava, Slovak Republic). – Bratislava, Slovak Republic: Academic Society of Michal Baludansky, 2015. – Vol. 2 – P. 150-151. *(Personal contribution - implementation of experimental research: development and manufacturing of fastening joint samples, metering fulfillment, analysis of results)*.

9. Zolotov S.M. Issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya soedineniya stal'-beton na akrilovih kleyah / S.M. Zolotov, P.M. Firsov // Materialy VII Mizhnarodnoyi nukovoyi konferencii "Resurs i bezpeka ekspluatatsii konstrukciy, budivel' i sporud", (20-21 zhovtnya 2015 r., Kharkiv). – Kharkiv: KhNUBA, 2015. – S. 109-111. *(Personal contribution – laboratory research implementation)*.

10. Firsov P.M. Prochnost' i deformativnost' akrilovih modificirovannih kompositsiy / P.M. Firsov // Materialy IV Mizhnarodnoyi nauk.-tehn. konferencii molodih vchenih ta studentiv "Aktualni zadachi suchasnih tehnologiy", (25-26 listopada 2015 r., Ternopil'). – Ternopil': TNTU im. Ivana Pul'uja, 2015. – S. 79-80.

11. Firsov P.M. Vzaimosvyaz' adgezionnoy i kogezionnoy prochnosti so strukturoy akrilovogo kleya / P.M. Firsov // Zbirnik tez dopovidey naukovo-praktichnoi konferencii, prisvyachenoi 95-richnomu yuvileyu LNAU, (8-9 noyabria 2016 r., Kharkiv). – Kharkiv: LNAU, 2016. – S. 55-57.

12. Firsov Pavlo. Strength and deformation of acrylic modified glues / Pavlo Firsov // Proceedings of International scientific and practical conference "Build Master Class", (16-18 of November 2016, Kyiv). – Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016. - p. 126-127.

13. Firsov P.M. Sostavi uluchshennih modificirovannih akrilovih kompositsiy / P.M. Firsov // Zbirnik tez dopovidey zvit'noi naukovo-praktichnoi konferncii LNAU, (21-23 lyutogo 2017 r., Kharkiv). – Kharkiv: LNAU, 2017. – S. 76-77.

14. Firsov P.M. Proektuvannya bezankernogo kleyevogo stalebetonnogo soedineniya na akrilovih modificirovannih kompositsiyah / P.M. Firsov // Tezi dopovidey VI Mizhnarodnoyi naukovo-tehnichnoi konferencii "Problemi nadiynosti ta dovgovichnosti inzhenernih sporud ta budivel' na zaliznichnomu transporti", (19-21 kvitnya 2017 r., Kharkiv). – Kharkiv: UkrDUZT, 2017. – S. 170-171.

15. Firsov P.M. Vliyanie sposobov podgotovki poverhnosti betona k skleivaniyu na akrilovih uluchshennih kompositsiyah / P.M. Firsov // Tezi dopovidey

IV Mizhnarodnoyi nauk.-prakt. konferencii "Aktual'ni problemi inzhenernoyi mehaniki", (16-19 travnya 2017 r., Odesa). – Odesa: ODABA, 2017. – S. 160-162.

16. Zolotov S.M. Viznachennya harakteristik mitsnosti stalekleyovih zyednan' pri bagatorazovih navantazhennyah / S.M. Zolotov, P.M. Firsov, Hamze Muhamad // Materialy III Mizhnarodnoyi naukovo-tehnichnoi konferencii "Efektivni tehnologii v budivnitstvi", (28-29 bereznya 2018 r., Kyiv). – Kyiv: KNUBA, 2018. – S. 89-91. *(Personal contribution - development of a method for testing adhesive joints on repeated dynamic loads, experimental research results analysis)*.

17. Firsov P.M. Viznachennya haraktersitsk mitsnosti kleyovogo shva vertikal'nogo stalebetonnogo zyednannya pri diyi zusil' zsuvu ta vidrivu / P.M. Firsov // Zbirnik materialiv zvitnoyi naukovo-praktichnoi konferencii LNAU, (20-23 lyutogo 2018 r., Kharkiv). – Kharkiv: LNAU, 2018 – S. 79-82.

Publications that additionally reflect the dissertation materials:

18. Zolotov S.M. Analiz prochnostnih harakteristik stakekleyevih soedineniy na modificirovannih akrilovih kleyah / S.M. Zolotov, P.M. Firsov // Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. - Kosice, Slovak Republic: Academic Society of Michal Baludansky, 2015. - Vol. 3. – P . 143-147. *(Personal contribution – implementation of experimental research: development and manufacturing of fastening joint samples, metering fulfillment, analysis of results)*.

Patents:

19. Patent na korisnu model' № 109770. Ukraina. MPK C08L 33/12 (2006.01). Akrilova kompositsiya / S.M. Zolotov, P.M. Firsov, V.K. Zhdanyuk, P.A. Bilim; vlasnik KhNUMG imeni O.M. Beketova. - № u 2016 01208; Zayavl. 12.02.2016; Opubl. 12.09.2016, Byul. № 17. – 6 s. *(Personal contribution – patent search, research conduction, conclusions formulation)*.

20. Patent na korisnu model' № 120256. Ukraina. MPK(2017.01) C08L 33/12 (2006.01), C09J 4/00, C08K 5/17 (2006.01), C04B 15/06 (2006.01). Akrilova

kompositsiya / S.M. Zolotov, P.M. Firsov, V.K. Zhdanyuk, P.A. Bilim; vlasnik KhNUMG imeni O.M. Beketova. - № u 2017 04402; Zayavl. 03.05.2017; Opubl. 25.10.2017, Byul. № 20. – 6 s. *(Personal contribution – patent search, composition development, research conduction)*.

21. Patent Ukraini na vinahid № 117314. Ukraina. MPK C08L 33/12 (2006.01), C04B 24/24 (2006.01), C04B 111/72 (2006.01). Akrilova kompositsiya / S.M. Zolotov, P.M. Firsov, V.K. Zhdanyuk, P.A. Bilim; vlasnik KhNUMG imeni O.M. Beketova. - № a 2017 04337; Zayavl. 03.05.2017; Opubl. 10.07.2018, Byul. № 13. – 6 s. *(Personal contribution – patent search, composition development, research conduction)*.

ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВСТУП 28

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ РОЗРОБКИ БЕЗАНКЕРНИХ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ. НАУКОВА ГІПОТЕЗА 38

1.1. Дослідження питання підсилення залізобетонних конструкцій за допомогою склеювання в Україні 38

1.2. Проблематика улаштування анкерних кріплень в бетонних і залізобетонних конструкціях 39

1.3. Аналіз основних конструкцій кріплення виробничого устаткування та комунікацій 48

1.4. Огляд досліджень міцності клейових конструкційних з'єднань сталі з бетоном промисловими клеями 57

1.5. Обґрунтування використання акрилових композицій та їх модифікації при розробці клейових кріплень сталі з бетоном 60

1.6. Напружений стан в клейових з'єднаннях сталі з бетоном 66

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1 69

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ СТАЛЕБЕТОННИХ З'ЄДНАНЬ ПРИ ВПЛИВІ РІЗНИХ ВИДІВ НАВАНТАЖЕНЬ 71

2.1. Методика експериментальних досліджень короткочасної міцності сталебетонних клейових з'єднань 71

2.1.1. Випробування з'єднань на дію центрально-докладених зусиль 71

2.1.2. Випробування з'єднань на дію позацентрово-докладених зусиль 80

2.1.3. Випробування з'єднань на сумісну дію зусиль відриву та зсуву 82

2.1.4. Випробування з'єднань на сумісну дію згинального моменту та зусиль зсуву 83

2.1.5. Випробування з’єднань на сумісну дію крутного моменту та зусиль зсуву 85
2.2. Математична модель безанкерного клейового сталебетонного з’єднання 87
2.3. Чисельна оцінка рівня напружено-деформованого стану пропонованого клейового матеріалу під з’єднання сталі з бетоном 93
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2 102
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ТА МІЦНОСТІ БЕЗАНКЕРНИХ КЛЕЙОВИХ СТАЛЕБЕТОННИХ З’ЄДНАНЬ 103
3.1. Результати експериментів по визначенню короткочасної міцності безанкерних клейових сталебетонних з’єднань 103
3.1.1. Міцність з’єднання при дії центрально-докладених зусиль відриву та статистична обробка результатів дослідження 103
3.1.2. Міцність з’єднання при дії позацентрово-докладених зусиль 130
3.1.3. Міцність з’єднання при сумісній дії зусиль відриву та зсуву 132
3.1.4. Міцність з’єднання при сумісній дії згинального моменту та зусиль зсуву 134
3.1.5. Міцність з’єднання при сумісній дії крутного моменту та зусиль зсуву 136
3.2. Визначення витривалості клейових сталебетонних з’єднань при багаторазово повторюваних навантаженнях 138
3.3. Визначення характеристик міцності клейового шва вертикального з’єднання сталі з бетоном 144
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3 158
РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КЛЕЙОВИХ СТАЛЕБЕТОННИХ З’ЄДНАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ 161

4.1. Розрахунок будівельних конструкцій за допомогою метода скінченних елементів на ЕОМ 161

4.2. Алгоритм розрахунку конструкцій та з'єднань з урахуванням фізичної нелінійності їх деформування 162

4.3. Моделювання клейового сталебетонного з'єднання в середовищі ПК "ЛІРА 10" 164

4.4. Моделювання клейового сталебетонного з'єднання в середовищі ПК "ANSYS" 178

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4 186

РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ КРІПЛЕННЯ, РОЗРАХУНКУ ТА УЛАШТУВАННЮ КЛЕЙОВИХ СТАЛЕБЕТОННИХ З'ЄДНАНЬ 187

5.1. Конструкції кріплення промислового устаткування та комунікацій клейовим безанкерним методом 187

5.2. Методи інженерного розрахунку клейових сталебетонних з'єднань 192

5.3. Приклади інженерних розрахунків клейових сталебетонних з'єднань 197

5.4. Рекомендації з улаштування клейових сталебетонних безанкерних з'єднань 200

5.4.1. Підготовка бетонних поверхонь конструкцій до склеювання 201

5.4.2. Склеювання на горизонтальних бетонних поверхнях 202

5.4.3. Склеювання на вертикальних бетонних поверхнях 205

5.5. Екологія та техніка безпеки 206

5.6. Техніко-економічна доцільність використання безанкерного клейового кріплення у порівнянні зі стандартним та хімічним анкеруванням 207

5.7. Науково-промислове впровадження результатів дослідження 216

5.8. Використання результатів досліджень в навчальному процесі 221

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5 222

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 224

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 226

ДОДАТКИ 244

ВСТУП

У вирішенні економічних і соціальних завдань, що стоять перед суспільством, винятково важлива роль належить капітальному будівництву. Зведення нових, переобладнання та реконструкція старих промислових і сільськогосподарських підприємств, житлово-цивільних, транспортних і гідротехнічних споруд ґрунтується на застосуванні ефективних матеріалів та конструкцій, використанні сучасної техніки і технологій, оптимальних форм організації та управління будівництвом. Найважливіша проблема підвищення ефективності і якості будівництва полягає в поліпшенні технологічності архітектурно-планувальних і конструктивних рішень будівель і споруд, що зводяться, та, головним чином, в удосконаленні методів зведення будівельних об'єктів. В даний час в технології будівельного виробництва визначальним є зниження трудомісткості і собівартості, а також поліпшення якості будівельно-монтажних робіт. Основне призначення технології – переробка матеріалів і напівфабрикатів з метою отримання готової продукції. В процесі використання матеріалів в будівельній галузі, слід постійно думати про їх з'єднання один з одним. Одним з видів з'єднання матеріалів є склеювання, яке давно і з успіхом застосовується як в техніці, так і в будівництві. З появою високоміцних синтетичних клеїв стало можливим склеювати також і будівельні конструкції, які безпосередньо несуть навантаження. Тому важливе значення має використання раціональних методів кріплення до фундаментів, бетонних або залізобетонних конструкцій різноманітного виробничого устаткування та інженерних комунікацій.

Широке застосування склеювання в будівництві пояснюється тим, що за допомогою мінеральних органічних і комбінованих клеїв (адгезивів) вдається отримати міцні та надійні з'єднання матеріалів і конструкцій, причому набагато економічніше, ніж будь-яким іншим способом. Постійно зростаючі потреби будівельної галузі у високоякісних клейових матеріалах призводять до значного збільшення вимог до складу та експлуатаційних характеристик, як самих адгезивів, так і клейових з'єднань.

В наш час в будівельній галузі все частіше при підсиленні, реконструкції та відновленні залізобетонних конструкцій та при влаштуванні анкерних кріплень використовуються різноманітні клейові полімерні розчини [1, 2, 3]. Клейовим матеріалом в безанкерних сталебетонних з'єднаннях можуть виступати епоксидні та акрилові клеї, так як вони за своїми властивостями відповідають всім необхідним вимогам, що пред'являються до клеїв для створення надійних високоміцних кріплень. Дослідженнями епоксидних та акрилових композицій, їх складу і властивостей, при забезпеченні сумісної роботи сталі і бетону в будівельних конструкціях, займається ряд наукових шкіл створених в провідних технічних університетах України (Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Полтавський національний технічний імені Юрія Кондратюка, Національний авіаційний університет).

Широке застосування отримали різноманітні типи акрилових клеїв. До цих клеїв відносяться ціаноакрилатні, анаеробні, а також емульсійні акрилові (на основі акрилових мономерів) і конструкційні клеї, які затверджуються по реакції полімеризації в присутності пероксидів [34, 36, 39, 74, 76, 88]. Акрилові клеї характеризуються високою адгезією до різних матеріалів, забезпечують високу міцність та довговічність клейовим з'єднанням, мають високу швидкість затвердження, малотоксичні.

Клейові сталебетонні з'єднання є одним з перспективних напрямків в сучасному новому будівництві, реконструкції та капітальному ремонті будівель і споруд. Дані з'єднання можуть цілком вдало застосуватися в будівництві для кріплення виробничого обладнання, інженерних комунікацій та інших технологічних пристроїв до бетонних/залізобетонних конструкцій. Кріплення за цим методом може здійснюватися за допомогою приклейки кріпильних вузлів або безпосередньо опорних частин устаткування до бетонної поверхні. Використання клеїв для цих цілей дозволяє значно скоротити терміни будівництва та реконструкції будівель і споруд, зменшити трудовитрати і матеріаломісткість робіт. Дана проблематика особливо актуальна для

підприємств металургійної, машинобудівельної, гірничорудної, хімічної і інших певних галузей промисловості. Також, в процесі реконструкції та ремонту будівель і споруд улаштування даних кріплень іноді може являтися єдиним можливим способом виконання робіт.

На сьогодні, найпоширенішими основними видами кріплень інженерних комунікацій і технологічного обладнання до фундаментів, бетонних і залізобетонних конструкцій виступають дюбельні та анкерні з'єднання. Дані типи кріплень мають як свої переваги, так і ряд певних недоліків [11-14]. Треба зазначити, що незважаючи на широку галузь застосування анкерів в будівництві існують певні типи бетонних/залізобетонних конструкцій, де улаштування анкерних кріплень категорично не рекомендується.

Необхідною умовою успішного застосування клейових сталебетонних безанкерних з'єднань в будівництві з використанням акрилових модифікованих композицій є рішення комплексної науково-дослідницької проблематики, яка включає дослідження їх короткочасної, тривалої і втомної міцності, їх проектування, питання технології їх улаштування (зокрема приклейка кріпильних вузлів до бетонної поверхні для кріплення устаткування і різних інженерних комунікацій), дослідно-промислова перевірка в умовах виробництва.

Отже, згідно із вищенаведеним матеріалом, **актуальність дослідження** обумовлена перспективністю застосування кріплення виробничого устаткування за допомогою приклейки кріпильних вузлів акриловими модифікованими клеями у зв'язку зі значними обсягами реконструкції існуючих промислових підприємств і нового будівництва.

Незважаючи на широку галузь застосування анкерів в будівництві існують певні типи бетонних/залізобетонних конструкцій, де улаштування анкерних кріплень категорично не рекомендується. В першу чергу це стосується монолітних залізобетонних перекриттів та покриттів будівель і споруд. В залежності від вихідних технічних параметрів монтованого обладнання, для улаштування кріплень за розрахунком необхідно

використовувати розпірні анкери із загальною довжиною, наприклад, 175-232 мм, що або зовсім унеможливлює операцію, або при проведенні монтажу анкерів - загрожує певною втратою несучої здатності залізобетонної конструкції. Також, не рекомендується свердлити отвори у збірних залізобетонних багатопустотних плитах перекриття. Висвердлювання отворів в багатопустотній плиті потребує високої точності розрахунків, для того щоб не влучити буром в пустоти. На практиці це ускладнюється невеликою шириною самого ребра між пустотами..

Слід зауважити, що в наш час проблема улаштування безанкерних кріплень інженерних приладів особливо актуальна для технічного персоналу мобільних операторів зв'язку. У великих містах для належного функціонування мережі мобільного та Інтернет-покриття елементи технологічного устаткування (базові станції, трубостійки, антени тощо) монтуються безпосередньо на покрівлю багатоповерхових будівель. При цьому, основна проблема полягає у відмові на отримання дозволу на проведення анкерувальних робіт в залізобетонному покритті від власників або від мешканців будинку. Внаслідок цього, інженери мають розробляти нові конструктивні рішення щодо монтажу даного обладнання. У такому випадку, при відмові на проведення анкерувальних робіт в залізобетонному покритті будівлі, проектуються кріплення за допомогою розвантажувальних рам, розпірок, відтяжок та кронштейнів, що призводить до суттєвого підвищення загальної трудомісткості монтажних робіт та до додаткової витрати металу. Інший негативний фактор полягає у тому, що у багатьох випадках, виходячи з конструктивних міркувань, виникає необхідність у проектуванні спеціальних фундаментів або парапетів, наприклад, для кріплення розвантажувальних рам. Ці конструкції передають суттєве додаткове навантаження на покриття, на яке воно не було заздалегідь розраховано.

Також, при монтажі обладнання даним способом значно скорочуються трудові витрати для улаштування з'єднань, розбирання бетону, буріння

свердловин, улаштування хомутів тощо, чим досягається значна економія грошових коштів і трудовитрат.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі теоретичної і будівельної механіки Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова згідно із координаційним планом Міністерства освіти і науки України, завдання 21 “Створення нових технологій, методів організації та механізації будівельних процесів, що забезпечують ефективність будівництва та модернізацію будівель і споруд” (№ ДР 0111U006207).

Мета дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає в комплексному дослідженні напружено-деформованого стану та міцності клейових безанкерних з’єднань сталі з бетоном при короткочасному довільному навантаженні, в якому всебічно розглядається питання несучої здатності кріплення сталь-клей-бетон на акрилових модифікованих композиціях при дії на кріпильний вузол різних видів руйнуючих зусиль, а також вплив різних конструктивних і технологічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані наступні **завдання дослідження**:

- за допомогою чисельних експериментальних випробувань комплексно дослідити короткочасну міцність безанкерних клейових з’єднань сталі з бетоном на акрилових модифікованих клеях при впливі центрально-докладених та позацентрово-докладених зусиль відриву, зусиль зсуву, сумісної дії зусиль відриву та зсуву, сумісної дії згинального моменту та зусиль зсуву, сумісної дії крутного моменту та зусиль зсуву;

- експериментально дослідити вплив різних конструктивних і технологічних параметрів (геометрія кріплення, висота клейового шва, клас бетону, підготовка бетонної поверхні до склеювання тощо) на міцність безанкерного клейового сталебетонного з’єднання;

- перевірити міцність безанкерного клейового сталебетонного з’єднання на витривалість при багаторазово повторюваних динамічних навантаженнях;

- математично змоделювати процес деформування безанкерного клейового сталебетонного з'єднання при дії різних видів руйнуючих зусиль;

- розробити конструктивні вузли кріплення виробничого устаткування та технологічних комунікацій, а також відповідний метод інженерного розрахунку даних з'єднань при дії різних видів руйнуючих зусиль.

Об'єкт дослідження – несуча здатність та граничний стан клейових вузлів кріплення опорних частин виробничого устаткування, що з'єднані з бетонною основою акриловими композиціями без застосування анкерування, при впливі різних видів навантажень.

Предмет дослідження – короткочасна міцність та напружено-деформований стан безанкерних клейових сталебетонних з'єднань на акрилових модифікованих клеях в залежності від дії різного виду руйнуючих зусиль і конструктивних особливостей опорних вузлів кріплення.

Наукова гіпотеза. Робочою гіпотезою передбачено використання в будівельній галузі безанкерного клейового кріплення конструктивних елементів на заміну анкерним з'єднанням. Пропонований метод монтажу кріпильних вузлів має ряд певних потенційних переваг, які полягають в тому, що для їх установки не потрібні значні трудові витрати для улаштування з'єднань, розбирання бетону, буріння свердловин, улаштування хомутів тощо, чим досягається істотна економія коштів, матеріальних ресурсів і трудовитрат. Даний тип кріплень дозволяє скоротити терміни монтажу/демонтажу виробничого устаткування за рахунок скорочення технологічних операцій. Це особливо актуально у випадках інженерного переобладнання промислових підприємств, де необхідно провести велику кількість кріплень і монтажних/демонтажних процесів в короткі часові рамки.

Методи дослідження - експериментальні методи оцінки напружено-деформованого стану та несучої здатності клейових сталебетонних з'єднань; методи теоретичної і будівельної механіки для дослідження напружено-деформованого стану клейових безанкерних з'єднань сталі з бетоном при короткочасному довільному навантаженні; методи математичної статистики

при підготовці та проведенні експериментальних досліджень; метод скінченних елементів для чисельної реалізації та верифікації результатів випробувань; порівняння та аналіз результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше встановлено (розроблено):

- математичну модель, напружено-деформованого стану безанкерного клейового з'єднання для трьох шарів (сталевої пластини, клейового шва та бетонної основи) при осесиметричному довільному навантаженні;

- експериментальну залежність міцності клейового сталебетонного з'єднання від дії різних видів руйнуючих зусиль, конструктивних особливостей кріплення, фізико-механічних властивостей бетону і технологічних параметрів;

- можливість безаварійного конструктивного застосування безанкерного клейового кріплення виробничого устаткування та технологічних комунікацій, як на горизонтальних, так і на вертикальних поверхнях бетонних та залізобетонних будівельних конструкцій;

- метод інженерного розрахунку безанкерних клейових кріплень сталі з бетоном, при дії різних видів руйнуючих зусиль.

Набуло подальшого розвитку:

- уявлення про особливості сумісної роботи конструктивних з'єднань сталь-клей-бетон під впливом різних видів навантажень;

- методики з розрахунку несучої здатності та оцінки напружено-деформованого стану клейових сталебетонних з'єднань.

Достовірність і обґрунтованість одержаних результатів. Достовірність наведених в дисертаційній роботі положень, висновків, рекомендацій, теоретичних розрахунків і експериментальних даних підтверджується повторенням і узгодженістю результатів багатопланового експерименту, проведеного в однакових умовах, стандартними і оригінальними методами фізико-механічних випробувань, а також застосуванням комплексу методів математичного аналізу. Достовірність приведених результатів досліджень також підтверджується низкою науково-промислових впроваджень

пропонованого безанкерного клейового методу кріплення виробничого устаткування.

Практичне значення результатів досліджень для будівельної галузі полягає у застосуванні безанкерного клейового кріплення при монтажі виробничого устаткування та технологічних комунікацій за рахунок встановлення короткочасної та втомної міцності клейового сталебетонного з'єднання на акрилових модифікованих клеях. Результати роботи дозволяють виконувати інженерний розрахунок даного типу кріплень і конструювання клейового з'єднання сталі з бетоном при дії на нього різних видів навантажень.

Результати дисертаційного дослідження були впроваджені на ряді промислових підприємств міста Харкова, а саме:

- на базі БК "Укрпромбуд" при безанкерному клейовому кріпленні промислового обладнання насосної установки підвищення тиску та насосної станції (Додаток В.1);

- на базі ТОВ "Будцентр Витязь" при безанкерному клейовому кріпленні фуговально-рейсмусного верстату за технологією та інженерними розрахунками, що запропоновані в дисертаційній роботі (Додаток В.2);

- на базі ТОВ "Будівельник" при відновлювальному переоснащенні силових електроліній у складських приміщеннях підприємства (Додаток В.3).

При реалізації вказаних дослідно-наукових впроваджень був досягнутий і розрахований певний економічний ефект (в середньому 75 грн/м^2, без урахування ринкової вартості витратних матеріалів) від застосування розробленого кріплення, в порівнянні з анкеруванням, за рахунок економії матеріальних ресурсів, зниження термінів виробництва, а також спрощення виконання будівельних робіт.

Результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова при підготовці бакалаврів за спеціальністю 192 "Будівництво та цивільна інженерія" у складі нормативних дисциплін (Додаток В.4).

Особистий внесок здобувача. Огляд літератури та існуючих конструкцій кріплень за тематикою дослідження, більшість лабораторних механічних випробувань та наступні розрахунки, статистична обробка їх результатів і отримання експериментальних залежностей, натурні дослідження, розроблення скінченно-елементних моделей в середовищі ПК "ЛІРА 10" (ліцензія № 1/1095) та ПК "ANSYS Academic Student", впровадження результатів досліджень на промислові підприємства та формулювання висновків виконані автором особисто.

Формулювання наукової гіпотези, постановка завдань дослідження, теоретичні обґрунтування, розробка нових модифікованих акрилових композицій під безанкерне кріплення, створення математичної розрахункової моделі клейового сталебетонного з'єднання виконано спільно з науковим керівником. Особистий внесок автора в спільні публікації відображено в переліку опублікованих робіт.

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати дисертаційного дослідження доповідались на VI Міжнародній науково-технічній Інтернет-конференції "Будівництво, реконструкція і відновлення будівель міського господарства" (Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 25 листопада-25 грудня 2014 року); форумі молодих вчених "Young researchers in the global world: vistas and challenges" (Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 25-26 травня 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Perspective trends in scientific research" (Словацька Республіка, Братислава, Academic Society of Michal Baludyansky, 17-22 жовтня 2015 р.); VII Міжнародній науковій конференції "Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд" (Харків, ХНУБА, 25-26 травня 2015 р.); IV Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій" (Тернопіль, ТНТУ ім. Івана Пулюя, 25-26 листопада 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції "Build Master Class" (Київ, КНУБА, 16-18 листопада 2016 р.); VI Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному

транспорті" (Харків, УкрДУЗТ, 19-21 квітня 2017 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції "Актуальні проблеми інженерної механіки" (Одеса, ОДАБА, 16-19 травня 2017 р.); III Міжнародній науково-технічній конференції "Ефективні технології в будівництві" (Київ, КНУБА, 28-29 березня 2018 р.); звітних науково-практичних конференціях ЛНАУ (Харків, ЛНАУ, 8-9 листопада 2016 р., 21-23 лютого 2017 р., 20-23 лютого 2018 р.).

Публікації. Основні положення і наукові результати дисертаційної роботи опубліковано в 21 друкованих наукових працях, з них:

- 5 статей в збірниках і виданнях, рекомендованих Міністерством освіти і науки України, в тому числі 2 статті – у виданнях, які включені до Міжнародних наукометричних баз (Index Copernicus);

- 1 стаття у закордонному науковому виданні, яка додатково відображає матеріали дисертації;

- 12 робіт апробаційного характеру: тези доповідей, які опубліковані у матеріалах науково-технічних конференцій, в тому числі за кордоном;

- 2 патенти України на корисну модель;

- 1 патент України на винахід.

У даних публікаціях відображені основні теоретичні та експериментальні результати дисертаційної роботи.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із анотацій, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 266 сторінках і містить 198 сторінок основного тексту, 33 таблиці, 102 рисунки, 159 найменувань літератури, 9 додатків.

РОЗДІЛ 1
СТАН ПИТАННЯ РОЗРОБКИ БЕЗАНКЕРНИХ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ. НАУКОВА ГІПОТЕЗА.

1.1. Дослідження питання підсилення залізобетонних конструкцій за допомогою склеювання в України

В наш час в будівельній галузі все частіше при підсиленні, реконструкції та відновленні залізобетонних конструкцій та при влаштуванні анкерних кріплень використовуються різноманітні клейові полімерні розчини [1, 2, 3]. За рахунок ряду переваг та відносно низької вартості, найбільш раціональними для використання в будівництві, з метою забезпечення надійної сумісної роботи бетону і сталі, є епоксидні та акрилові клеї.

Дослідженнями епоксидних та акрилових композицій, їх складу і властивостей, при забезпеченні сумісної роботи сталі і бетону в будівельних конструкціях, займається ряд наукових шкіл створених в провідних технічних університетах України (Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Національний авіаційний університет).

У наукових публікаціях Лапенка О.І., Машкової А.І., Білокурова П.С. [4, 5, 6] наведено чисельні експериментальні дослідження випробувань раціональних згинальних конструкцій (балочні системи) зі сталевих елементів із заповненими бетоном порожнинами за допомогою склеювання. На підставі проведених експериментів було доведено, що прикріплений за допомогою склеювання бетон в боковій порожнині згинальних елементів працює сумісно з металом на всіх етапах навантаження. При цьому, несуча здатність досліджуваних елементів, у яких використовується клейове з'єднання металу з бетоном, вища в порівнянні з елементами без такого з'єднання [6].

В роботах Стороженка Л.І., Горба О.Г. [7, 8, 9] приведені відомості про експериментальні випробування залізобетонних балок підсилених листовим та

профільним зовнішнім армуванням, в яких сумісна робота сталі та бетону забезпечується за допомогою склеювання. Дані випробування проводилися з метою визначення несучої здатності та характеру деформування елементів. Також, в рамках даних експериментів, було виконано порівняння конструкцій з клейовим з'єднанням та без нього. За результатами даних досліджень клейове з'єднання виявилося ефективним та надійним, про що свідчить його безвідмовна робота до повного руйнування, яке відбувалося після втрати зв'язку між бетоном і сталлю. Міцність клейового з'єднання була вищою ніж міцність бетону, тобто спостерігалося руйнування по бетону. Таким чином було доведено, що для забезпечення сумісної роботи сталі та бетону з метою підсилення залізобетонних конструкцій можливо використання акрилових та епоксидних клеїв. При цьому відпадає необхідність використання анкерних засобів та влаштування обойм [10].

Отже, з метою практичного використання набутого в даній галузі досвіду виникає необхідність в подальшому теоретичному і експериментальному вивченні роботи клейових сталебетонних з'єднань та розширенні сфери їх застосування в будівельній галузі.

1.2. Проблематика улаштування анкерних кріплень в бетонних та залізобетонних конструкціях

На сьогодні, найпоширенішими основними видами кріплень інженерних комунікацій і технологічного обладнання до фундаментів, бетонних і залізобетонних конструкцій виступають дюбельні та анкерні з'єднання. Дані типи кріплень мають як свої переваги, так і ряд певних недоліків [11-14].

Анкер – кріпильний виріб, який різними способами закріплюється в основі, що несе навантаження, і утримає будь-яку конструкцію. Анкер на відміну від дюбеля, як правило, є комбінованим самостійним кріпильним елементом, тобто разом зі здатністю закріплюватися в основі він також і утримує конструкцію.

Слід відзначити, що простота конструкції анкерів викликає у монтажників і будівельників часом уявні настрої щодо їх застосування, що в подальшому призводить до руйнування даних кріплень і серйозних аварій.

Аналіз європейської нормативної документації з технічних допусків на установку анкерів (ETAG 001, Annex C [15]; ETA-02/0042) свідчить про те, що необхідними умовами досягнення придатності роботи анкера є:

- визначення параметрів анкерних кріплень відповідно до ETAG 001, Annex C під особисту відповідальність інженера, компетентного в області анкерних кріплень;

- виконання перевірочних розрахунків і монтажних креслень відповідно з навантаженнями, де має бути зазначено положення анкера (наприклад, щодо розміщення арматури або опор, в розтягнутому або не розтягнутому бетоні);

- перевірка перед монтажем анкера, чи знаходиться клас міцності бетону в межах вказаної інформації;

- наявність бездоганної однорідності бетону, тобто без значних пустот;

- монтаж анкерів повинен проводитися спеціально навченим персоналом під керівництвом начальника будівельної ділянки;

- монтаж проводиться в тому вигляді, в якому анкер поставлений виробником, без заміни будь-яких складових;

- монтаж проводиться згідно з технічними даними, які заздалегідь надані виробником, а також відповідно до монтажних креслень за допомогою зазначеного інструменту;

- відсутність в просвердленому отворі бурової муки;

- установка анкерів із дотриманням глибини анкерного кріплення, перевірка глибини установки;

- дотримання встановлених параметрів для крайових та осьових відстаней без мінусового допуску;

- розташування просвердлених отворів без пошкодження арматури;

- докладання крутного моменту затягування динамометричним ключем.

Отже, нормативні проектні показники роботи анкерних кріплень забезпечуються тільки при дотриманні всіх правил застосування і монтажу анкерної техніки.

Анкерні болти мають ряд недоліків, через які ці з'єднання з часом руйнуються. Одним з таких негативних моментів є вирив анкерного болта, під час якого анкер частково або повністю вилітає з матеріалу основи. Ще одним варіантом руйнування анкерного з'єднання є зріз анкера. Це явище спостерігається при дистанційному монтажі елемента, який підлягає закріпленню, і супроводжується поломкою самого анкера. Руйнування анкерного болта утворюється через дію згинальних сил, величина яких перевищує розрахункові максимально допустимі параметри для даного конкретного з'єднання.

При експлуатації в умовах підвищеної вологості можливе руйнування анкерного болта корозією (рис. 1.1, а). Під впливом високих температур анкерні болти можуть плавитися або вигоряти. В цьому випадку анкер втрачає форму і руйнується частково або повністю (рис. 1.1, б) [16].

а) *б)*

Рис. 1.1. Дефекти анкерних кріплень: *а* - оцинкований анкер після 7 років експлуатації в умовах агресивного навколишнього середовища; *б* – зміна початкової геометричної форми анкера внаслідок розгерметизації під дією високих температур.

Доволі часто зустрічається і вирив основи анкером. В цьому випадку анкерні болти справно виконують покладену на них функцію, але навантаження, що докладаються, значно перевищують межу міцності, яка характерна для основи матеріалу. Найбільш часто в цьому випадку спостерігається злам кромки матеріалу (якщо анкер встановлений поблизу краю основи), або вилом фрагмента матеріалу конічної форми.

Однією з умов якісного кріплення є точність улаштування отвору під анкер (дюбель) по діаметру і його циліндричність, причому ці вимоги особливо актуальні для клинових анкерів. Отвір під анкерування створюється свердлінням основного матеріалу. Існує три основних способів свердління отворів в будівельних матеріалах:

- безударне свердління;

- свердління з частими легкими ударами, які забезпечує ударний дриль;

- свердління потужними, але відносно рідкими ударами, що досягається про роботі перфоратора.

Електродриль – ручний електричний інструмент призначений для додавання обертального руху свердлу або іншому ріжучому інструменту для свердління отворів в різних матеріалах при проведенні будівельних, оздоблювальних, столярних, слюсарних та інших робіт.

При роботі з електродрилем важку перешкоду для свердління складають арматурні прути і камені в бетоні. Подолати дану проблему можливо тільки шляхом додаткового використання добойника, здатного руйнувати камені і різати прути.

Електродриль дозволяє свердлити отвори невеликого діаметру переважно від 2 до 80 мм та глибиною не більше 100 мм. Для свердління отворів в бетоні, тим більше у залізобетоні, звичайні електродрилі майже не використовуються.

Перфоратор – ударна машина, що забезпечує наряду з ударом обертання робочого інструмента. На відміну від свердління перфоратор не свердлить (не ріже) отвір гострою кромкою свердла, а пробиває отвір буром, як зубилом, з механізованим обертанням бура.

Конструктивно-технологічні недоліки використання перфораторів під час свердління отворів в бетоні/залізобетоні:

1. Перфоратор – це інструмент ударно-обертальної дії, отже, під час свердління отвору в бетонній підлозі або стіні, а тим більше під час свердління фундаментів, можлива поява тріщин в конструкціях, що несуть навантаження.

2. Дуже складно свердлити армований бетон і майже неможливо густоармований залізобетон.

3. Шум, як правило, в межах від 80 до 100 дБ та дуже велика концентрація пилу під час проведення робіт.

У якості основного ріжучого інструменту використовуються бури по бетону (діаметр від 6 до 64 мм та довжина від 110 до 1000 мм). В процесі використанні бурів при попаданні в розріз отвору, що пробурюється, захисної арматури її перерізають різаками під арматуру. Перерізку елементів арматури глибокого залягання (більше 40 мм) вже виконують за допомогою електрозварювального апарату з наступною продувкою продуктів плавлення і добурюванням отвору на задану глибину.

Альтернативою стандартному анкеруванню виступає хімічне анкерування. Хімічні анкери – це анкери, що мають зчеплення з основним матеріалом за допомогою сил когезії і адгезії. Хімічні анкери застосовуються для скріплення і фіксації будівельних матеріалів, виробів та конструкцій з різного виду (класу) бетону, цегли, каменю, деревини, сталі тощо.

З’єднання за допомогою хімічних анкерів мають високу міцність зчеплення та набагато перевищують характеристики міцності розпірних металевих анкерів (приблизно в 2,5 рази перевищує зусилля на відрив).

Хімічні анкери складаються з спеціального клейового складу та металевої кріпильної вставки (втулка з внутрішнім різьбленням, шпилька, арматурний стрижень), яка виробляється з оцинкованої або нержавіючої сталі різної міцності.

Анкерування за цим способом здійснюється завдяки спеціальному хімічному складу – клею, який нагнітається в попередньо просвердлений отвір

потрібного діаметру, і після полімеризації клею забезпечує міцний зв'язок анкера і бетону.

Серед основних недоліків хімічного анкерування необхідно виділити наступні фактори:

- висока ринкова вартість витратних матеріалів (хімічний анкер, дозатор для введення клею, картридж);

- малий термін зберігання відкритої упаковки спеціального клейового складу;

- невеликий термін зберігання закритої упаковки (до 12 місяців);

- тривалий процес застигання (швидкість затвердіння клею становить при +20°С – від 20 до 40 хвилин в залежності від його складу; при більш низьких температурах полімеризація клею може взагалі не відбутися);

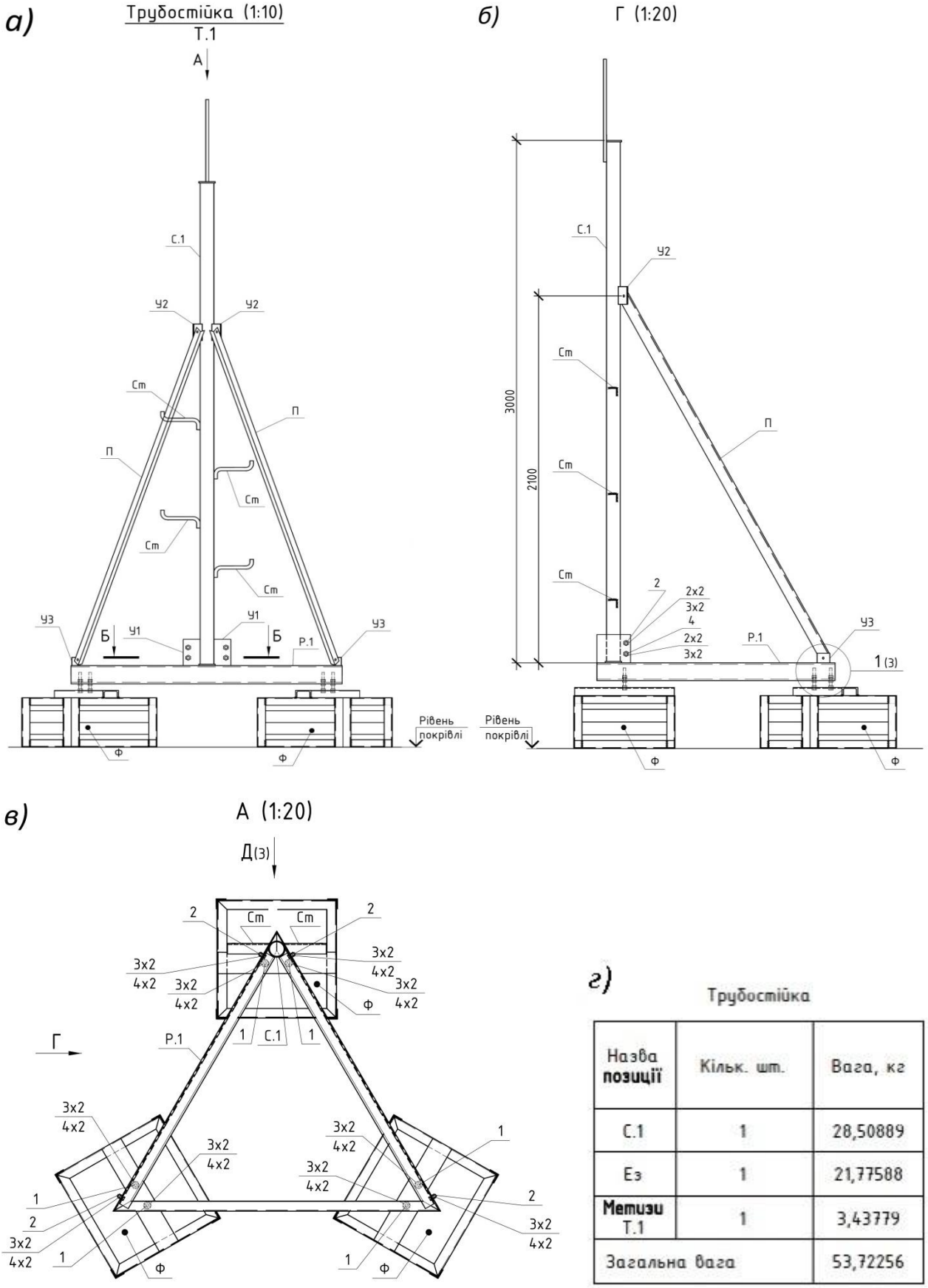
- складний і дуже трудомісткий процес демонтажу даного типу кріплень.

Треба зазначити, що незважаючи на широку галузь застосування анкерів в будівництві існують певні типи бетонних/залізобетонних конструкцій, де улаштування анкерних кріплень категорично не рекомендується. Це в першу чергу стосується монолітних залізобетонних перекриттів та покриттів будівель і споруд зі стандартною проектною товщиною 200 мм. В залежності від вихідних технічних параметрів монтованого обладнання (розміри опорних частин, загальна вага, тип діючих навантажень тощо), для улаштування кріплень за розрахунком необхідно використовувати розпірні анкери із загальною довжиною, наприклад, 175-232 мм, що або зовсім унеможливлює операцію, або при проведенні монтажу анкерів - загрожує певною втратою несучої здатності залізобетонної конструкції. Також, не рекомендується свердлити отвори у збірних залізобетонних багатопустотних плитах перекриття товщиною 220 мм (марки ПК 60-15-8а, ПК 72-15-8а тощо). Висвердлювання отворів в багатопустотній плиті потребує високої точності розрахунків, для того щоб не влучити буром в пустоти (∅159 мм). Це ускладнює невелика ширина самого ребра між пустотами – 26 мм. Слід зауважити, що при

свердлінні бур перерізає полку плити, товщиною 30,5 мм, де розташовується арматура класу В500С.

В наш час проблема улаштування анкерних кріплень інженерних приладів особливо актуальна для технічного персоналу мобільних операторів зв'язку. У великих містах для належного функціонування мережі мобільного та Інтернет покриття елементи технологічного устаткування (базові станції, трубостійки, антени тощо) монтуються безпосередньо на покрівлю багатоповерхових будівель. При цьому, основна проблема полягає у відказі на отримання дозволу на проведення анкерувальних робіт в залізобетонному покритті від власників або від мешканців будинку. Внаслідок цього, інженери мають розробляти нові конструктивні рішення щодо монтажу даного обладнання. У такому випадку, при відказі на проведення анкерувальних робіт в залізобетонному покритті будівлі, проектуються кріплення за допомогою розвантажувальних рам, розпірок, відтяжок та кронштейнів, що призводить до суттєвого підвищення загальної трудомісткості монтажних робіт та до додаткової витрати металу. Інший негативний фактор полягає у тому, що у багатьох випадках, виходячи з конструктивних міркувань, виникає необхідність у проектуванні спеціальних фундаментів або парапетів, наприклад, для кріплення розвантажувальних рам. Ці конструкції передають суттєве додаткове навантаження на покриття, на яке воно не було заздалегідь розраховано.

З даними проблемами у 2017 році зіткнулися інженери при розробці монтажу конструкцій комплексного обладнання радіомодуля, розташованого за адресою: м. Харків, пл. Захисників України, буд. 7/8. Відповідно до технічного завдання на покрівлі будинку (відм. +24,55 м) необхідно було встановити трубостійку ТР-2 (∅89×4 мм, L=3000 мм). Після відказу на проведення анкерувальних робіт в збірному залізобетонному покритті, було запропоновано наступне конструктивне рішення. Вільностояча трубостійка ТР-2 обпирається на вершину кута розвантажувальної рами, яка виконана в плані у вигляді рівностороннього трикутника із довжиною сторони 1,58 м (рис 1.2). В перерізі розвантажувальної рами застосовується гнутий швелер розміром 100×40×4 мм.



г)

Трубостійка

Назва позиції	Кільк. шт.	Вага, кг
С.1	1	28,50889
Еэ	1	21,77588
Метизи Т.1	1	3,43779
Загальна вага		53,72256

Рис. 1.2. Схема монтажу трубостійки ТР-2: *а* - конструктивна схема трубостійки; *б* – вид Г: *в* – вид А; *г* – технічні параметри трубостійки.

а) *б)*

Рис. 1.3. Вільностояча трубостійка ТР-2 за адресом м. Харків, пл. Захисників України, буд. 7/8: *а* – загальний вид; *б* – фундамент з п’яти бетонних блоків під кріплення розвантажувальної рами.

Розвантажувальна рама кріпиться в кутах до фундаментів, які виконані з п’яти бетонних плит розміром 500×500×40 мм с кутовим оздобленням (куток 50×4 мм). Загальна вага одного фундаменту складає 120 кг (рис 1.3, б). Загальна вага конструкції розвантажувальної рами за проектом дорівнює 185 кг. Отже, сумарна вага додаткових елементів кріплення (за для уникнення анкерування), які передають навантаження на покриття, перевищує 545 кг.

Окрім того, питання доцільності буріння отворів постає при роботі з густоармованими тонкостінними монолітними залізобетонними конструкціями. При пошкодженні або перерізанні робочої арматури буром при свердлінні -

конструкція втрачає свою проектну несучу здатність, потребує проведення її перерахунку та відновлення в подальшому.

Ще одним важливим фактором забезпечення надійної роботи анкерного кріплення є питання належної герметизації наскрізних отворів. Іноді, при улаштуванні анкерних з'єднань в перекриттях, за розрахунком, необхідно бурити наскрізні отвори. Наскрізні отвори в бетонних та залізобетонних конструкціях будівель і споруд є найбільш уразливими місцями, як в процесі будівництва, так і подальшої експлуатації. Легковажний підхід до питань гідроізоляції і герметизації в даних зонах нерідко призводить до великих витрат при подальшому ремонті, усунення наслідків протікання з можливим ослабленням несучої здатності конструкцій і їх надійності в цілому.

Для усунення перелічених проблем необхідно розробити альтернативний вид з'єднання. Таким новим конструктивним з'єднанням може виступати клейовий безанкерний спосіб кріплення. Кріплення за цим способом може здійснюватися шляхом конструктивної приклейки сталевих вузлів або опорних частин технологічного устаткування безпосередньо до попередньо обробленої (підготовленої) поверхні бетону. Для улаштування цього з'єднання, можливе використання певних промислових клеїв, які володіють необхідною високою адгезією до бетону і сталі, а також високими фізико-механічними структурними властивостями.

1.3. Аналіз основних конструкцій кріплення виробничого устаткування та комунікацій

Для розробки та проектування клейового безанкерного з'єднання були зібрані дані про розповсюджені типи кріплень різного виробничого устаткування та комунікацій до бетонних і залізобетонних конструкцій (фундаментів, підлог, плит перекриття та інших типів конструкцій) [17-32].

На рис. 1.4-1.8 представлені найбільш характерні типи кріплення електротехнічного обладнання та розводок електрокабелів. На даних рисунках також наведені навантаження, які діють на кріплення.

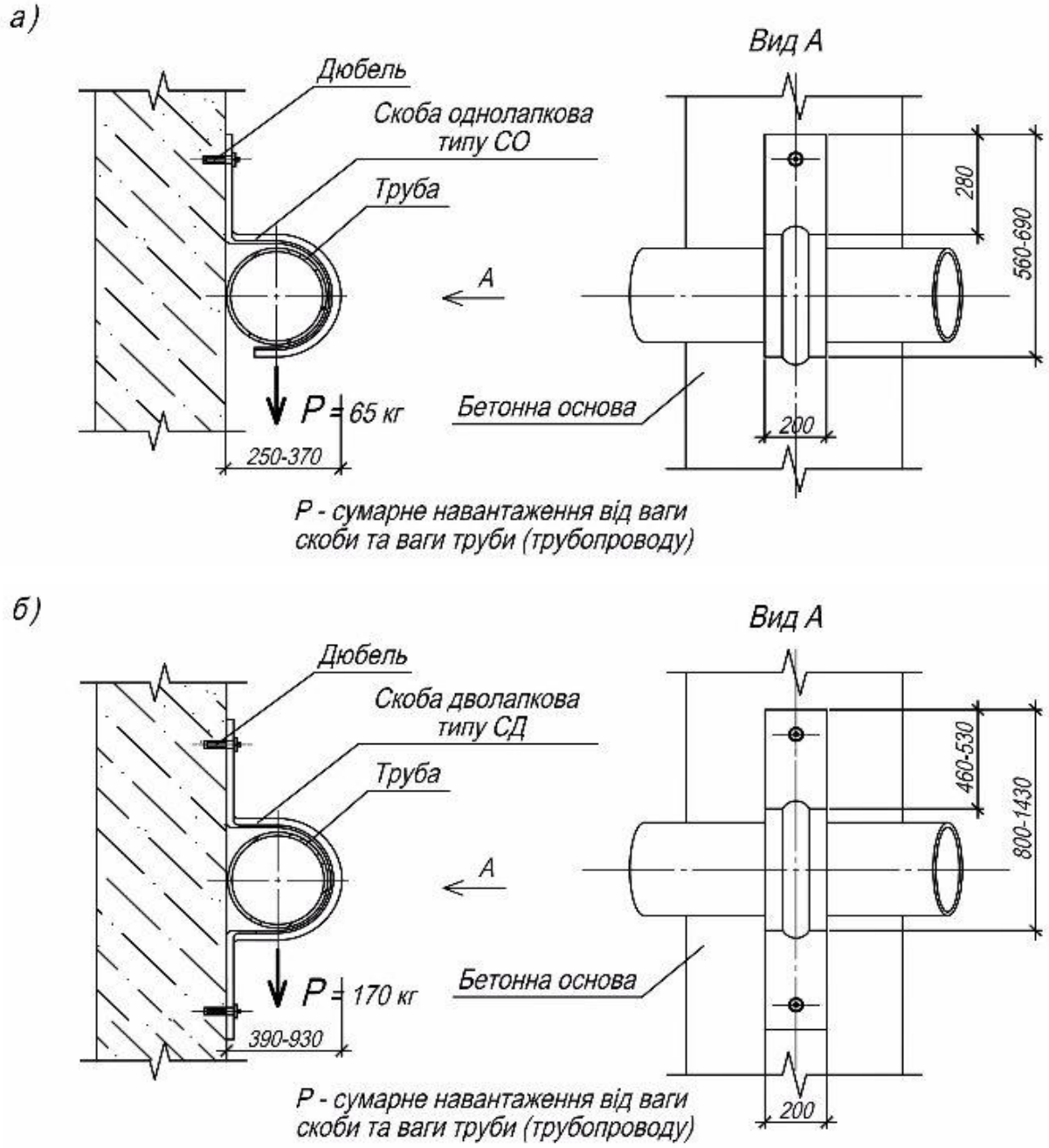
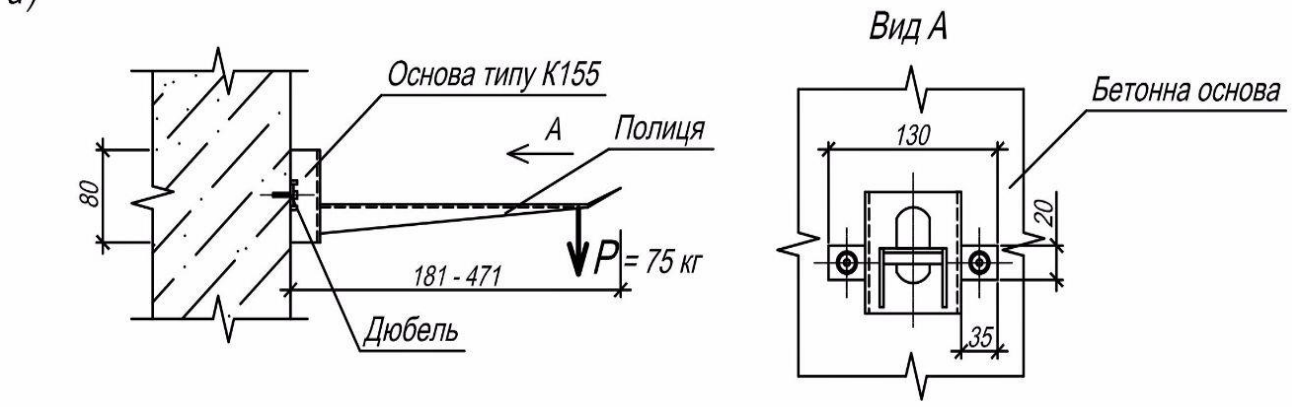
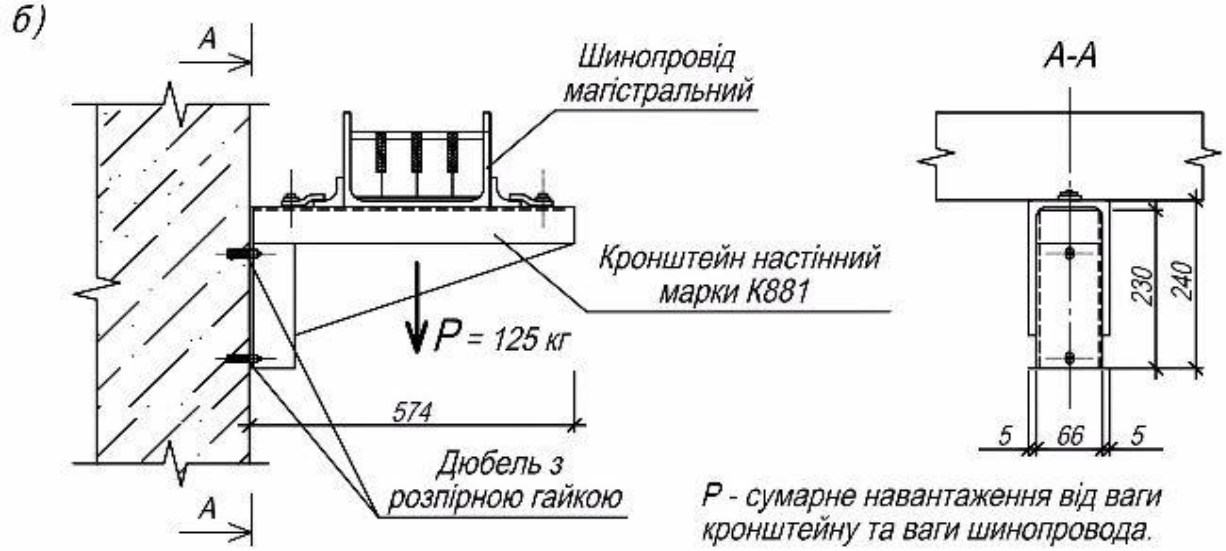


Рис. 1.4. Схеми кріплення опорних промислових скоб: *а* – скоб однолапкових типу СО; *б* – скоб дволапкових типу СД.

а)

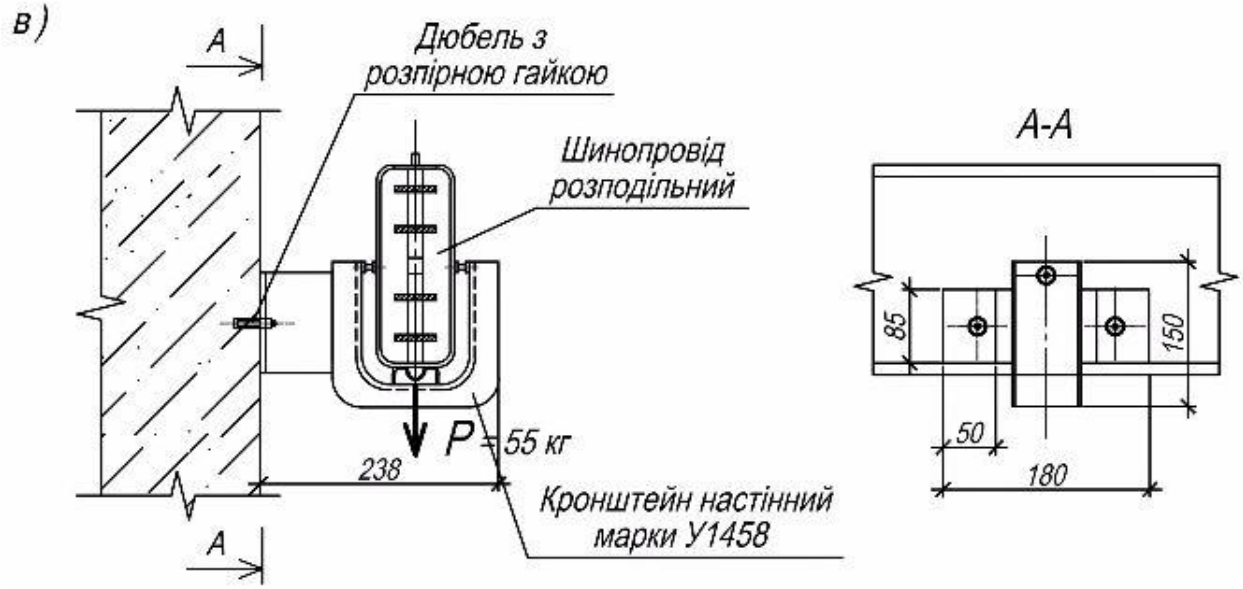


б)



Р - сумарне навантаження від ваги кронштейну та ваги шинопровода.

в)



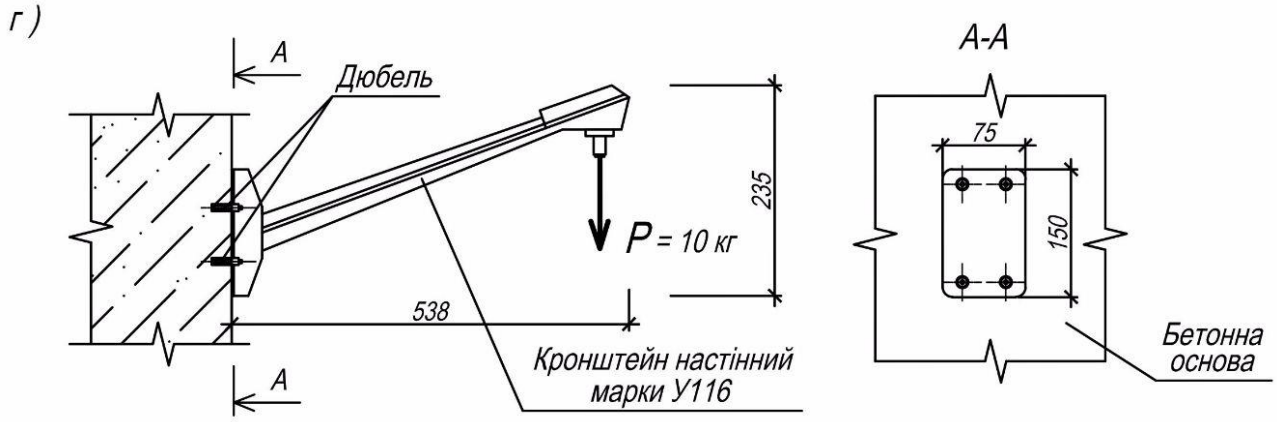
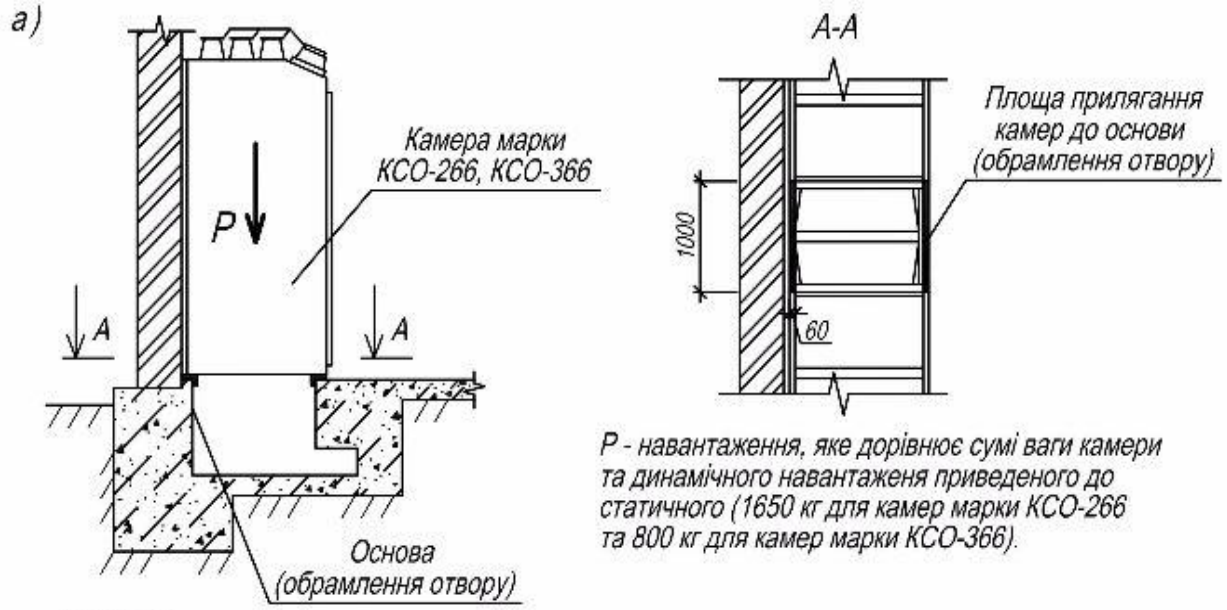


Рис. 1.5. Схеми кріплення промислових настінних кронштейнів (основ): *а* – основа типу К155 під прокладку електрокабелів; *б* – кронштейн марки К881; *в* – кронштейн марки У1458; *г* – кронштейн марки У116.



Примітки:
1. *Основа (ст. кутова № 6, 3 та швелер № 12) закладена по всьому периметру отвору.*
2. *Камера марки КСО приварюється до основи у чотирьох точках по кутам.*
3. *Основа камери виконана із листового куточка із шириною полиці 60 мм.*

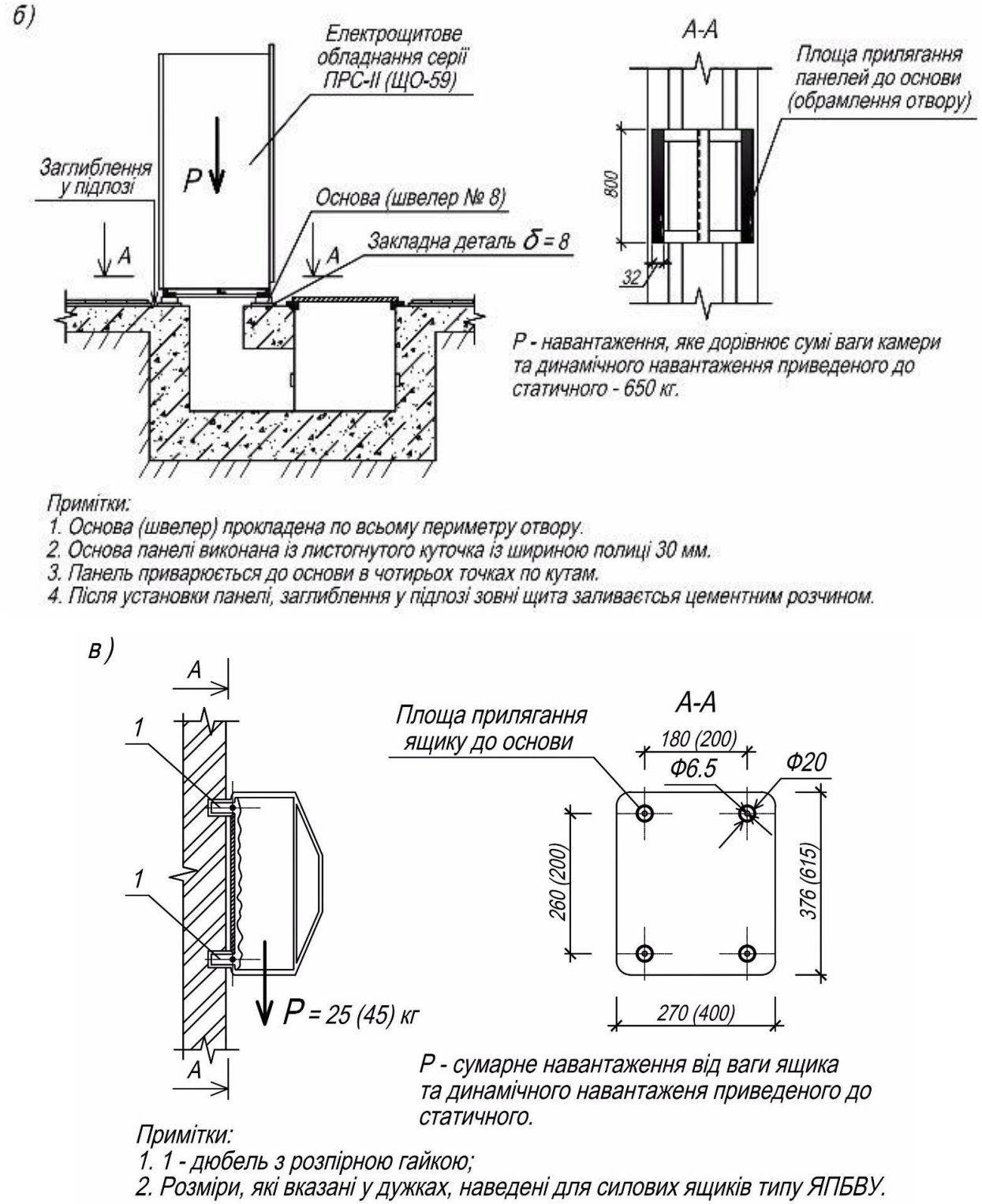


Рис. 1.6. Схеми установки силового електротехнічного обладнання: *а* – камер трансформаторних марки КСО-266 (КСО-366); *б* – щитів постійного току серії ПРС (ЩО59); *в* – силових ящиків типу ЯПБВУ-1м (ЯПБВУ).

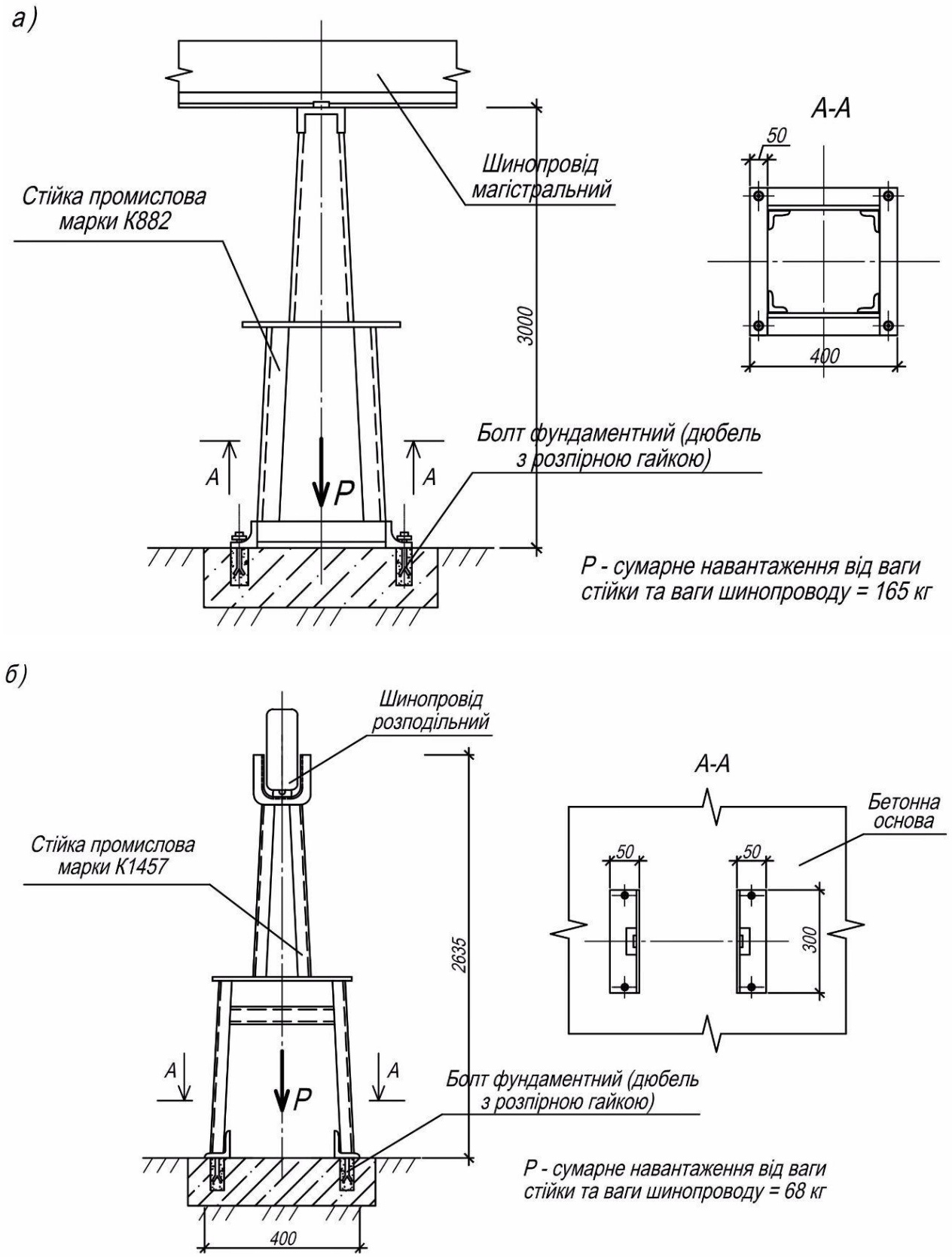


Рис. 1.7. Схеми кріплення силового електротехнічного обладнання:

а – стійка промислова маркування К882 під магістральний шинопровід;

б – стійка промислова маркування У1457 під розподільний шинопровід.

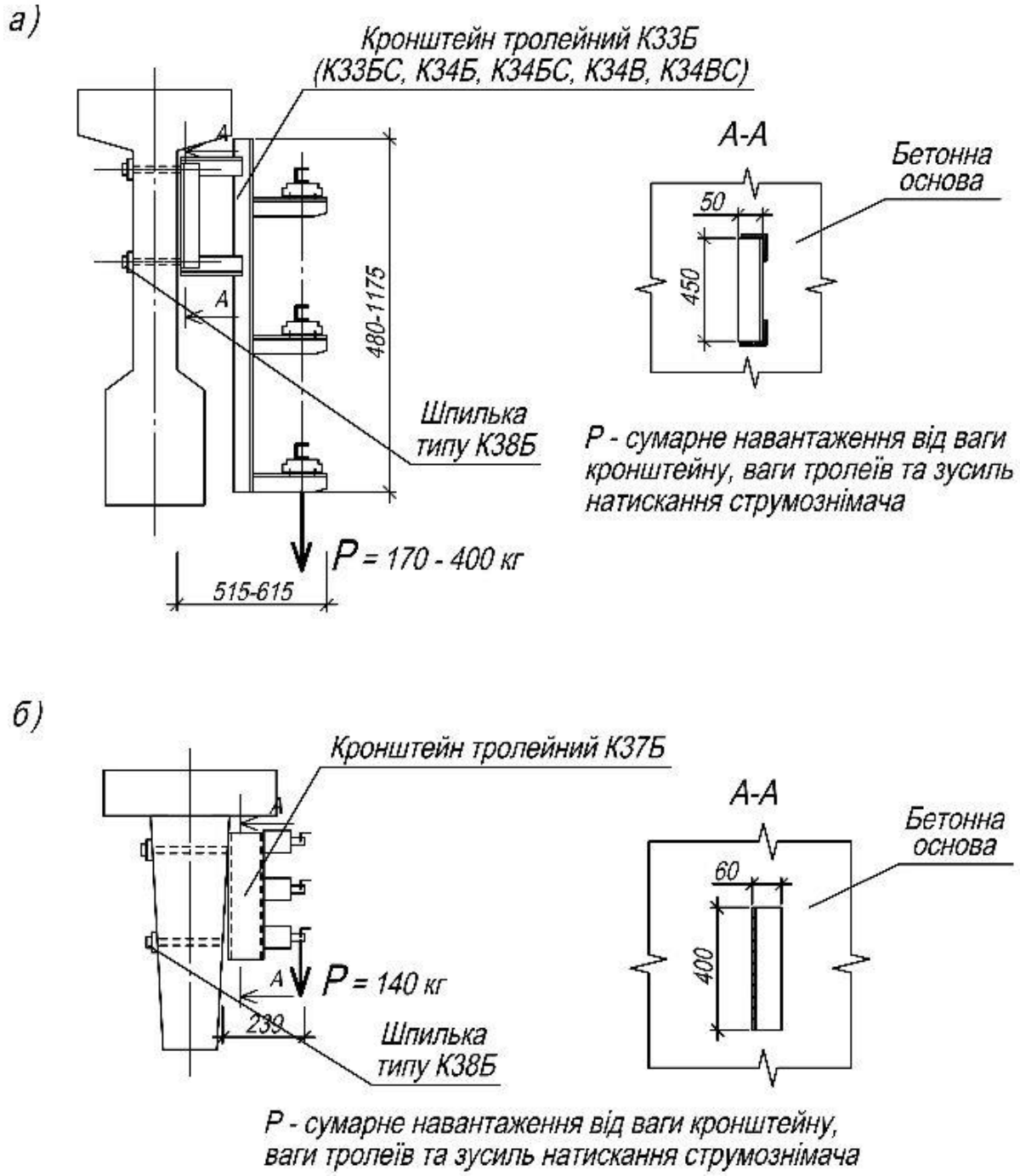


Рис. 1.8. Схеми установки тролейних кронштейнів (провідників):
а – кронштейнів тролейних марки К33Б (К33БС, К34Б, К34БС, К34В, К34ВС);
б – кронштейнів тролейних марки К37Б.

На рис. 1.9 та рис. 1.10 представлені найбільш характерні закладні деталі, за допомогою яких кріпляться трубопроводи до бетонних і залізобетонних конструкцій. На них показані характер і величини навантажень, які діють на закладні деталі.

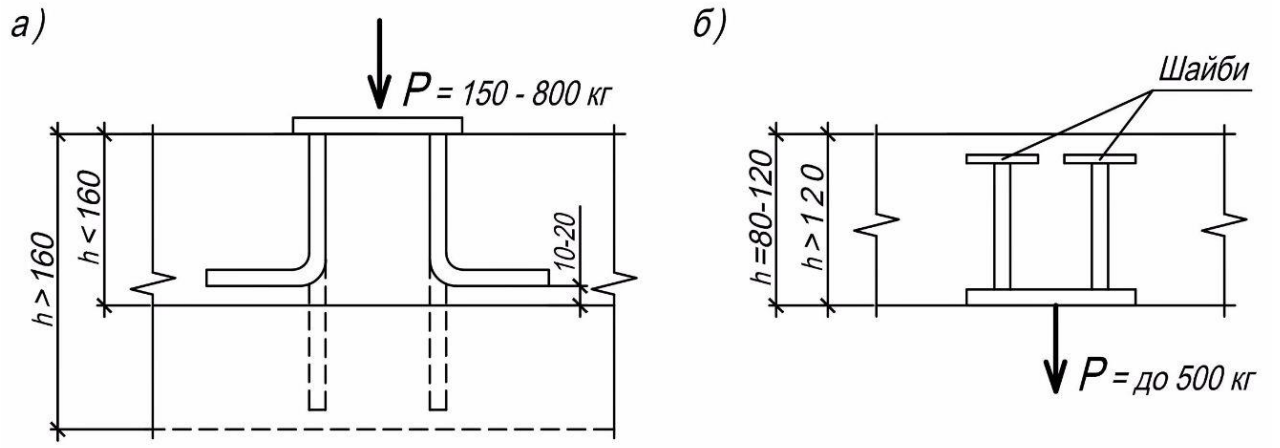


Рис. 1.9. Металеві закладні елементи: *а* – під навантаження стиску; *б* – під навантаження відриву.

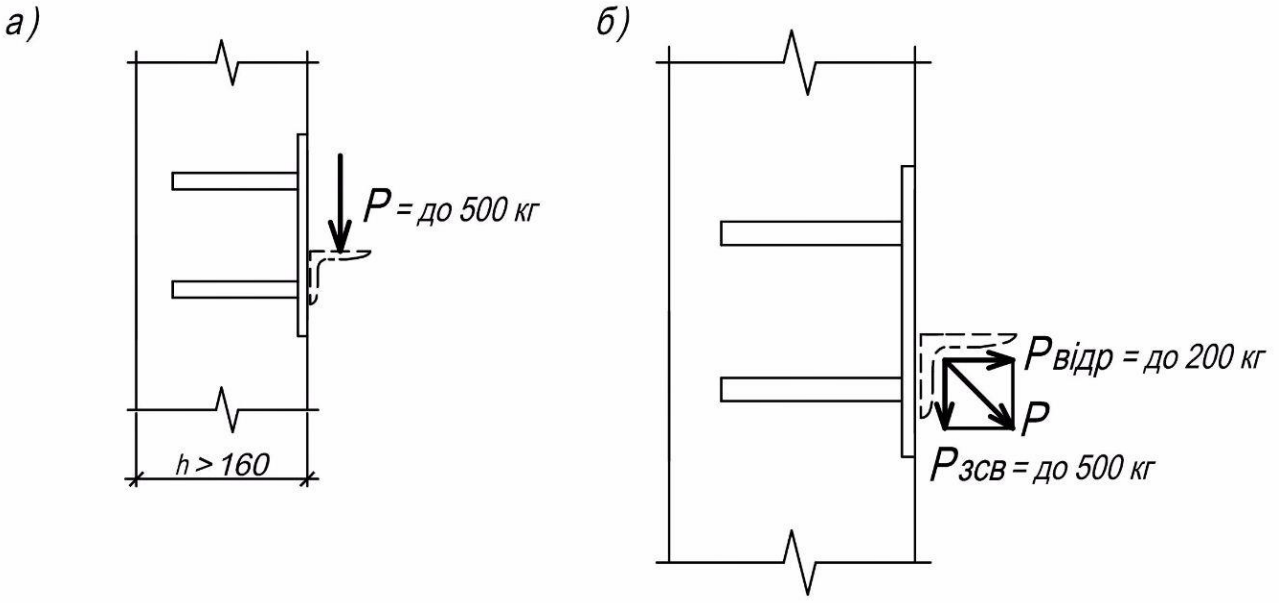


Рис. 1.10. Металеві закладні елементи: *а* – під навантаження зсуву; *б* – під сумісну дію навантажень відриву та зсуву.

Аналіз вищенаведених даних говорить про те, що монтаж різного виробничого устаткування та інженерних комунікацій цілком може здійснюватися за допомогою приклейки сталевих опорних елементів обладнання до поверхні бетонних і залізобетонних конструкцій певними технологічними клейовими складами.

Розгляд випадків монтажу і прокладки трубопроводів, електрокабелів, різноманітного електротехнічного і технологічного устаткування говорить про

те, що на вузли кріплення можуть діяти зусилля відриву і стиску (рис. 1.6, а; 1.6, б; 1.7, б; 1.9, а: 1.9, б), а також зусилля зсуву, сумісна дія згинального моменту та зусиль зсуву, сумісна дія крутного моменту та зусиль зсуву, сумісна дія зусиль відриву та зсуву (рис. 1.4; 1.5; 1.6, в; 1.7, а; 1.8).

Також, детальне вивчення традиційних кріплень показує, що на кріпильні вузли діють наступні види навантажень. Так, на рис. 1.11 представлені типи конструкцій кріплення технологічного обладнання до фундаментів за допомогою приклейки кріпильних вузлів (рис. 1.11, а), або безпосередньо приклейкою опорних частин устаткування (рис 1.11, б). В цьому випадку на кріпильний вузол і клейове з'єднання діє центрально-докладане зусилля. У випадку приварювання кріпильного болта до сталевої пластини із деяким умовним ексцентриситетом *е* на клейове з'єднання, в свою чергу, можуть впливати позацентрово-докладені зусилля.

а) *б)*

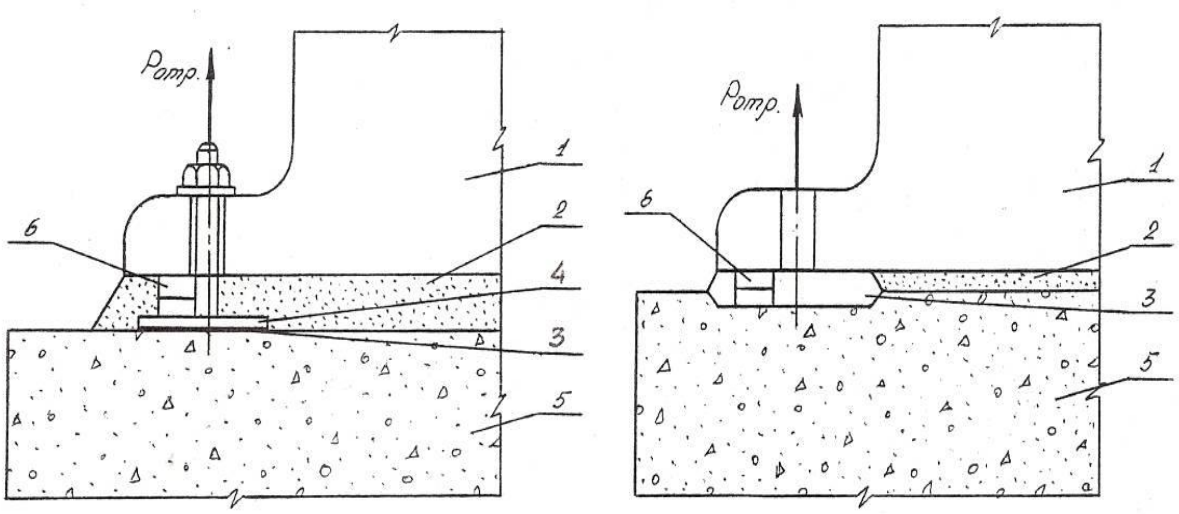


Рис. 1.11. Монтаж обладнання методом поверхневої приклейки:

а - кріпильного вузла; *б* - опорної частини; *1* - обладнання; *2* - підливка; *3* – клейовий шар; *4* – кріпильний вузол; *5* - фундамент; *6* - монтажні підкладки.

Кріплення інженерних комунікацій (трубопроводів різної конфігурації, розводок кабелів, електротехнічних ліній) може здійснюватися за двома основними схемами:

1) закладення/приклейка кріпильних вузлів до поверхні бетону, а потім підвіска комунікацій;

2) кріплення шляхом горизонтального закладення сталевих конструкцій, що несуть навантаження, з подальшим монтажем комунікацій.

Для утримання кріпильних вузлів на вертикальній поверхні бетону, до закінчення затвердіння клею, можуть використовуватися спеціальні утримуючі пристрої. Геометрична незмінність положення приклеєних кріпильних вузлів забезпечується наступними утримуючими пристроями: підпорками, пробками із гіпсу, або в'язкими матеріалами (скляна замазка, пластилін тощо), умовними спеціальними утримуючими пристроями. Спеціальні утримуючі пристрої являють собою смужки з щільної тканини шириною 30-50 мм (наприклад з брезенту), попередньо наклеєні на бетонну поверхню.

Приведений аналіз випадків дії навантажень на кріпильні вузли інженерних комунікацій та технологічного обладнання, в свою чергу, визначив необхідні подальші експерименти із дослідження короткочасної міцності клейових сталебетонних з'єднань.

1.4. Огляд досліджень міцності клейових конструкційних з'єднань сталі з бетоном промисловими клеями

Клейові з'єднання бетону зі сталлю не можна ототожнювати зі звичайними способами кріплення зазначених елементів. Тому застосування клеїв для з'єднання сталі (кріпильний вузол) з бетоном вимагає спеціального вивчення міцності і напружено-деформованого стану при різних видах впливу навантажень. Це підтверджує загальний аналіз конструкцій кріплення кріпильних вузлів технологічного обладнання, який наведений у Розділі 1.3.

Детальний аналіз монтажу обладнання і прокладки трубопроводів, електричних кабелів, різного електротехнічного і технологічного устаткування говорить про те, що на вузли кріплення можуть діяти центрально-докладені і позацентрово-докладені зусилля, сили відриву і стиску, а також сили зсуву,

сумісна дія згинального моменту та сил зсуву, сумісна дія крутного моменту та сил зсуву, сумісна дія сил відриву та зсуву, сумісна дія сил зсуву та стиску [20, 26, 27, 29, 30, 32].

Дослідження дії навантажень на кріпильні вузли інженерних комунікацій і технологічного обладнання визначило, в свою чергу, необхідні експерименти з визначення міцності клейових сталебетонних з'єднань на акрилових клеях.

Здатність клейових з’єднань нести навантаження в значній мірі залежить від їх конструктивних рішень. У свою чергу поточна конструктивна характеристика визначається фізико-механічними властивостями клею і поєднуваних елементів, а також їх геометричними характеристиками. Не менший вплив має і характер діючих навантажень. Відомо, що кращі показники міцності має бетон при впливі на нього зусиль стиску і зсуву.

Дослідження клейових з’єднань металів, яким присвячена значна кількість наукових робіт [33-39], показали наступне. Більшою здатністю нести навантаження володіють клейові з’єднання металів, в яких фізико-механічні властивості клею, товщина клейового шару і геометричні розміри елементів, що з’єднуються між собою, і відносне їх розташування підібрані таким чином, щоб концентрація напружень була найменшою і, відповідно, міцність – оптимальною.

В конструкціях, що складаються з двох та більше елементів (як це має місце в клейових з’єднаннях), рівномірний розподіл напружень може бути досягнуто вкрай рідко. Відмінність фізико-механічних характеристик клею і матеріалів, що склеюються, а також геометрична асиметрія з’єднання, обумовлюють різну інтенсивність напружень по обидва боки поверхні розділу. Тому виникає концентрація напружень в клейових з’єднаннях. Це в свою чергу призводить до зменшення їх міцності.

Дане питання не вивчене ретельно для з’єднань сталь-клей-бетон, міцність яких перш за все обумовлюється специфічними фізико-механічними властивостями бетону. На відміну від металів, міцність яких значно перевищує адгезійну і когезійну міцність клейових швів, показники міцності бетону значно

поступаються не тільки металу, але й акриловому клею. Бетон, на відміну від металів, має пористу структуру, тому клей має значно більшу адгезію з бетоном ніж з металом.

Ці малодосліджені питання покладені в основу вивчення міцності клейового сталебетонного з'єднання на акрилових клеях при різних силових впливах навантажень.

Дослідженням міцності клейових з'єднань будівельних конструкцій та елементів з використанням приклеювання присвячений ряд робіт [40-47, 49, 51, 54, 55, 56]. Причому дані дослідження були проведені для випадку використання в з'єднанні саме епоксидних клеїв. Випробування проводилися при впливі на клейові з'єднання зусиль рівномірного відриву. Результати даних досліджень детально відображені в наукових публікаціях Золотова М.С., Барча І.З., Золотова С.М., Критова В.Г. [41-44]. Результати цих експериментальних випробувань показали, що руйнування клейових сталебетонних з'єднань відбувалося по бетону. На міцність з'єднань істотно впливали фізико-механічні властивості бетону і товщина сталевих пластин кріпильних вузлів.

Дослідження, які були проведені закордоном, також підтвердили наведені вище результати. Іноземні вчені Martinez M., Abenojar J., Pantoja M., Yanmei Wang [49-54] детально досліджували вплив різних чинників на міцність кріплення клейових вузлів, а також різноманітні фізико-хімічні чинники, вплив вологості і температури на механічні властивості клейових композицій, їх полімеризацію із різними модифікаторами в структурі тощо.

Виходячи з досвіду вищевказаних досліджень були прийнято рішення продовжити застосування і технічне удосконалення саме безанкерного типу з'єднань. При цьому суттєвим нюансом є продовження розробки поліпшених складів адгезивів, що в свою чергу допоможе досягти істотного підвищення міцності самого з'єднання (питання адгезії і когезії), хімічних (тепло- і морозостійкість) і фізико-механічних характеристик матеріалу.

У зв'язку із розширенням використання і застосування поверхневого приклеювання для кріплення промислових комунікацій, технологічного

устаткування та інженерних ліній необхідно проведення великої кількості експериментальних досліджень із визначення міцності клейових сталебетонних кріплень, а саме випробування клейових з'єднань на різні види навантажень, а саме на :дію центрально-докладених та позацентрово-докладених зусиль, дію зусиль зсуву, сумісну дію зусиль відриву та зсуву, сумісну дію згинального моменту та зусиль зсуву, а також сумісну дію крутного моменту та зусиль зсуву. Необхідно також провести дослідження впливу геометричних характеристик з'єднання та ряду технологічних параметрів, які впливають на міцність кріплення.

Передбачається здійснити кріплення безанкерним способом різного технологічного обладнання, інженерних ліній і промислових комунікацій. Для цього необхідно провести дослідження міцності та деформативності з'єднання сталь-клей-бетон на акрилових модифікованих клеях при впливі багаторазово повторюваних динамічних навантаженнях. На підставі отриманих результатів експериментальних випробувань також мають бути надані рекомендації щодо проектування конструкцій кріплення, розрахунку та улаштуванню клейових сталебетонних з'єднань.

1.5. Обґрунтування використання акрилових композицій та їх модифікації при проектуванні клейових кріплень сталі з бетоном

Конструкційні полімерні клеї широко застосовуються у всіх галузях промисловості та будівництва, і потреба в них постійно зростає. Зростають і вимоги, які пред'являються до клеїв, тому не дивно, що в ряді випадків, з великого переліку різноманітних за складом і властивостями полімерних клеїв, не вдається вибрати адгезив, який повністю задовольняє усім вимогам. Незважаючи на існування великої кількості клеїв, які розрізняються не тільки за складом та властивостями, але й технологією виробництва, призначенням тощо, проблематика створення нових композицій із певним, заздалегідь

заданим, комплексом властивостей і спрямованої модифікації вже існуючих, залишається актуальною.

Полімерні клеї (епоксидні, карбамідні, меламіноакрилові, акрилові та інші) мають ряд важливих властивостей: міцне зчеплення з бетоном і сталлю (їх зчеплення зі сталлю в 5-12 разів більше ніж у цементного бетону та інших подібних розчинів), висока механічна міцність, стійкість до агресивних середовищ, задовільна отворопроникність і можливість створення клейових швів різної товщини [3, 11, 33, 41-44, 46, 47, 56-59, 96, 97]. Склеювання матеріалів полімерними клеями має певну перевагу перед зварюванням, оскільки воно забезпечує більш високу корозійну стійкість та втомну міцність ділянки, що ремонтується. Зазначені вище характеристики дозволяють успішно використовувати їх в будівництві для кріплення різноманітного виробничого обладнання, інженерних комунікацій та інших технологічних пристроїв до бетонних та залізобетонних конструкцій.

В даний час при промисловому виготовленні будівельних клеїв в основному використовуються термореактивні смоли холодного затвердіння типу: фурфуролацетонових (типу ФА, ФАМ, 4ФА), фенолформальдегідних (марки СФЖ-3032, СФЖ-40-КО), поліефірних (марки “Ізо-ефір”), силоксанових (марки “Епоксіл”), карбамідних (марки КФ-Ж). Численні дослідження [34, 36, 60-63] виявили недоліки даних клеїв як в ході приготування, так і в процесі експлуатації. Відносно невисока міцність і мала життєздатність роблять фурфуролацетонові клеї непридатними для з’єднання будівельних конструкцій та кріплення технологічного обладнання до фундаментів, які піддаються впливам агресивних середовищ. Поліефірні клеї багатокомпонентні, токсичні, вибухонебезпечні самі по собі та мають малий термін зберігання. Істотним недоліком силоксанового клею є його багатокомпонентність, необхідність виробництва гідромолу, неможливість його застосування в разі впливу високої вологості і лужних середовищ [61].

Із значного переліку клеїв на основі термореактивних смол найбільше застосування для ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій, а також кріплення промислового обладнання отримали епоксидні клеї [36, 47, 64].

Проте, епоксидні смоли мають ряд суттєвих недоліків: необхідність розігріву при пластифікації, обмежена температура застосування без хімічних добавок у складі, висока вартість і токсичність [65]. Широкому застосуванню епоксидних клеїв, зокрема в сталебетонних клейових з'єднаннях, перешкоджають, особливо в даний час, його відносна дорожнеча, дефіцитність його компонентів, а також його деякі фізико-хімічні та технологічні властивості, що ускладнюють технологію приклеювання кріпильних вузлів безпосередньо на будівельному майданчику. Теплові впливи сприяють старінню клейових з'єднань сталі з бетоном на основі епоксидних смол. Цей процес супроводжується виділенням летючих речовин, усадкою та зміненням міцності при нормальній і підвищеній температурах. У свою чергу, виділення летючих речовин супроводжується появою залишкових напруг і деструкцією. Дибутилфталат, вкрай токсичний ефір фталевої кислоти, починає виділятися з отверділих смол вже при 60ºС [66]. Інша проблема епоксидних смол пов'язана з їх властивістю втрачати в'язкість при підвищенні температури в ході екзотермічного затвердіння. Це створює певні труднощі при роботі з епоксидними смолами на вертикальних та похилих поверхнях.

З метою усунення перерахованих вище недоліків клеїв, в Харківському національному університеті міського господарства імені О.М. Бекетова, співробітниками наукової школи Золотова М.С. були розроблені склади високоміцних акрилових адгезивів [67-72]. Експериментальні дослідження, які були проведені М.С. Золотовим, Б.Ю. Пагі, Р.О. Спіранде, С.М. Золотовим, А.О. Гарбуз, В.О. Скляровим, Л.М. Шутенко [59, 67, 68, 73-76, 81] показали, що акрилові клеї практично краще епоксидних. Застосування акрилових композицій дає можливість створювати міцні безанкерні з'єднання, а також клейові кріплення бетонних та залізобетонних елементів з високим ступенем

надійності. За адгезійними та когезійними властивостями вони не поступаються епоксидним, а за технологічними значно їх перевершують (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Основні фізико-механічні характеристики акрилового та епоксидного клеїв

Вид адгезиву	Межа міцності, МПа				Модуль пружності, МПа
	При стиску	При розтягу	При згині	При зсуві	
Епоксидний	50-60	7-12	35-37	23-25	$(0,15\text{-}0,8) \times 10^4$
Акриловий	60-90	16-19	36-41	21-30	$(0,2\text{-}1,6) \times 10^4$

Виходячи з таблиці 1.1 видно, що акриловий клей володіє високими характеристиками міцності в порівнянні з епоксидними. При цьому міцність даного виду клею може змінюватися в широких межах шляхом введення модифікуючих добавок. Це особливо важливо для проектування сталебетонних клейових з'єднань, тому що міцність бетону, який є безпосередньо одним з елементів кріплення сталь-клей-бетон, в 3-6 разів менше міцності акрилового клею. Змінюючи властивості клею, також можна підібрати економічний склад з мінімальною витратою акрилового полімеру клейової композиції.

До основного складу акрилового клею входять сполучники – акриловий полімер-мономерний компаунд холодного затвердіння на основі кислоти метилового ефіру акрилової кислоти, наповнювач і різні добавки. В якості в'яжучого застосовується акрилова пластмасса АСТ-Т [77, 78], що представляє собою компаунд холодного затвердіння типу порошок-рідина. Порошкоподібний компонент АСТ-Т - це високомолекулярна речовина, полімер на основі метилметакрилату (поліметилметакрилату). Затвердіння акрилової пластмаси здійснюється мимовільно при нормальній температурі за рахунок полімеризації, що основується на реакції окислювально-відновних систем. Окислювачем в системі служить бензоїл, а відновником – диметиланілін.

Для модифікування клейової композиції в її склад вводиться мінеральний наповнювач - кварцовий пісок з різною крупністю фракції (від 0,14 до 0,63 мм). Зміна крупності зерен наповнювача (кварцового піску) також призводить до змінення міцності акрилового клею. Так, введення в структуру адгезиву 200 мас-частин кварцового піску із крупністю зерен відповідно 0,14, 0,315 і 0,63 мм призводить до збільшення межі міцності на стиск з 66,9 до 95,4 МПа [79, 80, 82, 83]. Використання добавок збільшує міцність акрилового клею при стиску від 23% до 34% ($R_{сер}$ = 92,6 МПа), при розтягу - від 38% до 72% ($R_{сер}$ = 23 МПа) і при зсуві (зрізі) - від 32% до 42% ($R_{сер}$ = 37 МПа).

Також були досліджені закономірності зміни деформативности акрилового клею, що дозволило визначити величини модулів пружності і інші міцнісні характеристики матеріалу.

Таблиця 1.2

Склад компонентів пропонованих акрилових модифікованих композицій

Компоненти	Вміст компонентів у складі композиції на основі метилметакрилату, мас.%			Вміст компонентів у складі композиції на основі алілметакрилату, мас.%		
	1	2	3	4	5	6
Метилметакрилат (очищений від стабілізатора) ДСТУ Б А.1.1-28-94	31,0	30,6	30,2	-	-	-
Алілметакрилат (очищений від стабілізатора) ТУ 6-09-08-1186-77	-	-	-	29,5	29,0	28,7
Емульсійний поліметилметакрилат ТУ 6-01-836-78	34,5	34,6	34,8	36,0	36,2	36,3
Отверджувач перекись бензоїла ДСТУ 2768-94; (ISO 3165:1976)	0,69	0,67	0,66	0,69	0,67	0,66
Прискорювач полімерізації диметиланілін CAS 87-62-7	2,11	2,13	2,14	2,11	2,13	2,14
Кварцевий пісок (фракція 0,5-1мм) ДСТУ Б В.2.7-131:2007	31,7	32,0	32,2	31,7	32,0	32,2

За участю автора були розроблені та практично випробувані якісно нові клейові склади під безанкерне кріплення конструкцій з введенням високомолекулярних модифікаторів в клейову поліакрилову систему [84-86]. При цьому модифікатор вводився на стадії підготовки клейового зв'язуючого до повного суміщення (розчинення) полімеру в акриловому мономері та отримання на його основі стабільного при зберіганні преполімеру (табл. 1.2). У колбу ємкістю 500 мл вводять 31,0 мас.% очищеного від стабілізатора метилового ефіру метакрилової кислоти (метилметакрилату) і при перемішуванні малими порціями додають порошок емульсійного поліметилметакрилату в кількості 34,5 мас.%. В результаті утворюється прозорий безбарвний розчин, який можна зберігати до технологічної в'язкості 900-980 сП протягом 5-7 діб. Перед застосуванням для склеювання конструкційних елементів або для отримання блочних зразків в розчин вводять 31,7 мас.% кварцевого піску і 0,69 мас.% перекису бензоїлу. Після ретельного перемішування здійснюють добавку 2,11 мас.% диметиланіліну і витримують 5-7 хвилин до видалення повітряних включень. Готову композицію наносять на поверхні, що склеюються, сполучають і затверджують за нормальних умов протягом 24 годин.

На думку автора, наявність високомолекулярного модифікатора повинна сприяти більш інтенсивному проходженню релаксації напружень (їх перерозподілу) в клейовому з'єднанні та зменшенню концентрації напружень при навантаженні в вершинах тріщин (нових поверхонь). Така поведінка клейового матеріалу забезпечує уповільнення процесів втомного руйнування з'єднань.

До переваг акрилових з'єднань також треба віднести тот факт, що акрилові та метакрилові полімери легко забарвлюються пігментними барвниками у різноманітні кольори. Акрилати та метакрилати можна легко полімеризувати або сополімеризувати усіма відомими методами, що значно розширює асортимент акрилових полімерів, які виготовляються в процесі промислового виробництва.

Отже, акрилові клейові компаунди [81, 82, 83, 87, 88, 95, 96, 98, 99, 101] - це сучасні альтернативні клейові матеріалі, які дозволяють найбільш швидко та якісно з мінімальними трудовитратами з'єднувати бетонні, залізобетонні і сталебетонні конструктивні елементи.

1.6. Напружений стан в клейових з'єднаннях сталі з бетоном

Напружений стан в клейових прошарках, навіть в разі найпростіших з'єднань, наприклад, безанкерних кріплень (внапусток або встик), істотно неоднорідний. Це говорить про те, що кінцева міцність з'єднання залежить від локальних значень міцності, тобто від міцності в місцях, де руйнування настане раніше, ніж по всій площі з'єднання. При дії руйнівного навантаження, як правило, оцінюють не тільки кінцеву міцність, але і характер процесу руйнування, який може відбуватися в адгезиві (клеї), на межі клей-субстрат і в субстраті. Останній вид руйнування характерний на парі метал-бетон (по бетону), за умови підбору клейового матеріалу з високими когезійними характеристиками і достатньою адгезійною дією до вищевказаних субстратів.

Таким чином, практично завжди руйнування клейового з'єднання відбувається по клею або матеріалу, що склеюється (в даному випадку бетону), та міцність шва повинна бути пропорційною когезійній міцності найбільш слабкого компонента системи [89, 100].

Основним фактором, що має істотний вплив на фізико-механічні властивості клейового шва, залишаються внутрішні напруги, які виникають при обмеженні деформації полімерного адгезиву, наприклад, підкладкою.

Окрім даних напруг, в з'єднаннях також виникають напруги, які обумовлені дією експлуатаційних факторів. Вони дуже неоднорідно розподіляються по поверхні клейового з'єднання і концентруються на відносно невеликій площі, що в більшості випадків є причиною передчасного руйнування з'єднань.

У будь-якому випадку наявність “піку” напруг по крайках безанкерного клейового шва, виникнення яких обумовлено, з одного боку - об’ємною (лінійною) усадкою адгезиву, а з іншої - поглинанням вологи в процесі експлуатації, призводить до нерівномірного характеру розподілення внутрішніх напружень по площі склеювання.

При цьому, розглядаючи дію зусиль стиску і розтягу на безанкерне клейове з’єднання, потрібно відзначити, що деформація з’єднання по його площі неоднакова, і тому напруження розподіляються також нерівномірно, особливо, якщо з’єднання має невелику площу [90, 94, 102]. В цьому випадку (при стиску) напруження в середній частині більше ніж по краях, а при дії зусиль розтягу - навпаки. Крім того сили, які діють на два листа, що склеюються (в даному випадку металевої основи безанкерного з’єднання), знаходяться не на одній прямій - лінія їх дії зміщена відносно один одного на величину $\frac{(\delta_1 - \delta_2)}{2}$ (де δ_1 і δ_2 – товщина листів, що склеюються) [91]. Тому на клейове з’єднання додатково діє згинальний момент.

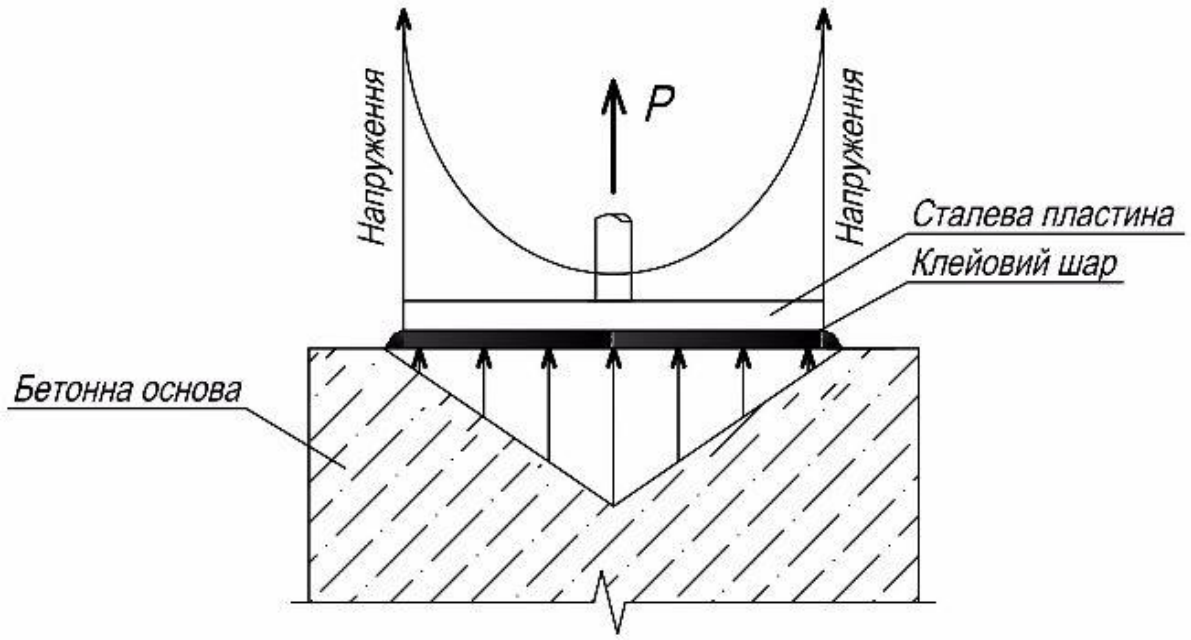


Рис. 1.12. Розподілення напружень в клейових безанкерних з’єднаннях

При спільному впливі сил розтягу і згинальних сил в шарі клею виникають напруги, перпендикулярні поверхні склеювання, тобто клей працює на відрив. Ці фактори в основному і обумовлюють зниження працездатності з'єднань.

Експериментальні дані щодо розподілу напружень в з'єднаннях зазвичай не співпадають з теоретичними розрахунками. Останні достатньо складні, в них не завжди враховується вплив ряду змінних факторів, в тому числі і наявність пружно-пластичних деформацій, які значно впливають на рівень напружень. Однак якщо спрощено виходити з припущення, що клей в затверділому стані веде себе згідно із законом Гука, то допустимо провести розрахунок руйнівного напруження клейового з'єднання виходячи з наступних міркувань.

Будемо вважати товщину прошарку клею, який заповнює простір між паралельними площинами з'єднання, постійною і позначимо її h_o. Якщо при затвердінні не діють зовнішні сили, то шар клею після затвердіння буде мати товщину h_1. При цьому $h_o > h_1$ (тобто зовнішні сили діють проти усадки). Якщо співвідношення $\frac{(h_0 - h_1)}{h_0}$ менше, ніж загальне відносне подовження клею, то шар клею не зруйнується (можливе руйнування поблизу межі розділу трьох фаз). Далеко від торця шва, тобто в області, де приховані внутрішні напруження діють перпендикулярно поверхні, що склеюється, їх величина в затверділій плівці клею буде складати:

$$s = \frac{E \times (h_0 - h_1)}{h_0}, \qquad (1.1)$$

де: E – модуль пружності клею, який використовується в з'єднанні.

Тріщини в клейовому шві не утворюються, якщо значення s менше кінцевої міцності клею при розтягу, і допустимі значення повинні бути менше цієї величини. Це допустимо тільки в тому випадку, якщо не враховувати складного напруженого стану клейового з'єднання, тривалості дії навантаження, а також армуючої дії поверхні субстрату.

Таким чином, якщо при розтягу шару клею без внутрішніх напружень (f) він буде деформуватися за законом Гука, то для руйнування клейового шва, в якому присутні внутрішні напруження, достатньо докласти напругу:

$$f = f_T - \frac{E \times (h_0 - h_1)}{h_0}, \tag{1.2}$$

де: $f_т$ – міцність клейового з'єднання (теоретична).

Отже, у всіх випадках напружений стан клейового прошарку відрізняється нерівномірністю діючих сил і тому, їх рівень багато в чому буде визначатися релаксаційними характеристиками клею.

Раніше зазначалося, що на кінцях (торцях) клейового шва рівень напружень завжди вище, ніж в решті її частини, отже, знизити напруження можливо якщо змінити геометрію з'єднання [34, 92]. Однак такий шлях не завжди є доцільним. Більш перспективним є використання комбінації клеїв з різними деформаційно-міцнісними властивостями [93], або застосовувати полімерні клеї із необхідними мікрореологічними характеристиками.

Таким чином, щоби забезпечити надійність клейового безанкерного з'єднання не обов'язково прагнути високої початкової міцності. Важливо отримати з'єднання зі стабільними властивостями в умовах тривалої експлуатації. Тому, на думку автора, при склеюванні безанкерних з'єднань доцільно використовувати клеї з невисоким модулем пружності і допустимою еластичністю. Цей шлях кращий, тому що може запобігти виникненню значних концентрацій напружень у кромок (країв) клейового з'єднання, які виникають одразу після затвердіння.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1:

1. В результаті критичного аналізу розповсюджених способів кріплення технологічного обладнання був виявлений ряд недоліків та дефектів, які має анкерний метод.

2. Висунуто робочу гіпотезу, що в будівельній галузі, в якості альтернативи анкеруванню, має місце безанкерний метод клейового кріплення

промислового обладнання, інженерних ліній та комунікацій. Улаштування даного типу з'єднань особливо актуально у збірних та монолітних залізобетонних покриттях будівель і споруд, де категорично не рекомендується проводити анкерувальні роботи, а також у густоармованих залізобетонних конструкціях. Також, при монтажі обладнання даним методом значно скорочуються трудові витрати для улаштування з'єднань, розбирання бетону, буріння свердловин, улаштування хомутів тощо, чим досягається значна економія грошових коштів і трудовитрат.

3. Дослідження дії силових навантажень на кріпильні вузли різноманітного виробничого устаткування визначило основні показники міцності і деформативності клейових сталебетонних з'єднань. Безанкерні кріплення сприймають зусилля відриву (розтягу), зусилля зсуву (зрізу), сумісну дію зусиль відриву та зсуву, сумісну дію згинального моменту та зусиль зсуву, сумісну дію крутного моменту та зусиль зсуву, а також дію центрально-докладених та позацентрово-докладених зусиль.

4. Загальний аналіз конструкцій кріплення технологічного устаткування показав наявність впливу різного виду зусиль на міцність клейового сталебетонного безанкерного з'єднання, а також залежність міцності кріпильного вузла від геометричних параметрів з'єднання (товщини сталевої пластини, висоти клейового прошарку, площі приклеювання тощо) і ряду інших технологічних показників.

5. Проаналізовано використання сучасних клейових композицій промислового виробництва для склеювання (підсилення) будівельних конструкцій. Встановлено, що для улаштування клейових з'єднань сталі з бетоном найбільш ефективними є акрилові клеї. Прикладом таких клейових композицій виступають модифіковані акрилові склади з високими міцностними характеристиками, які розроблені в ХНУМГ імені О.М. Бекетова.

РОЗДІЛ 2
ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ СТАЛЕБЕТОННИХ З'ЄДНАНЬ ПРИ ВПЛИВІ РІЗНИХ ВИДІВ НАВАНТАЖЕНЬ

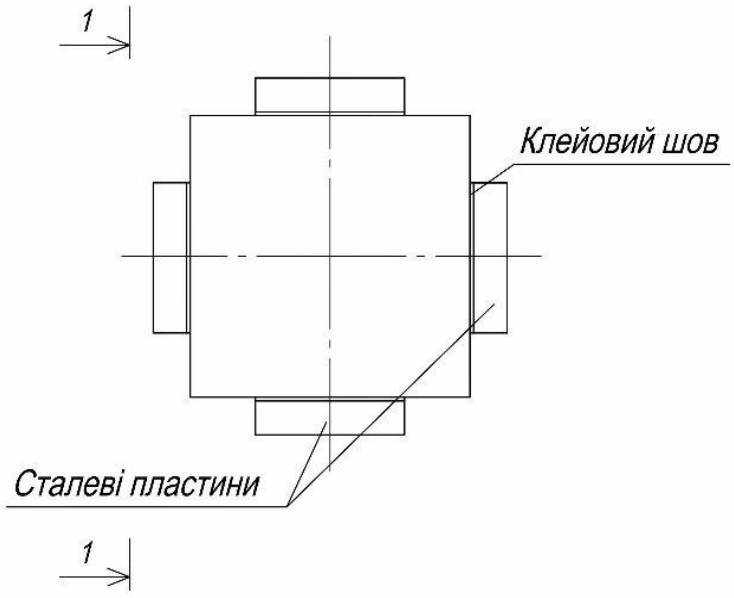
2.1. Методика експериментальних досліджень короткочасної міцності сталебетонних клейових з'єднань

2.1.1. Випробування з'єднань на дію центрально-докладених зусиль

Експерименти по визначенню короткочасної міцності клейових сталебетонних з'єднань при дії центрально-докладених зусиль виконувались на випробувальних зразках (рис. 2.1) за схемою, яка наведена на рис. 2.2.

Бетонні зразки виготовлялися в стандартній металевій опалубці у виробничому цеху ТОВ "Житлобуд-2" (місто Харків) розміром 100×100×100 мм з бетону класу С12/15.

Для виготовлення зразків вузлів кріплення застосовувалася сталь вуглецева якісна марки Ст 08кп (ДСТУ 2834-94). Ці зразки виготовлялись у вигляді пластин шляхом порізки листового прокату промисловою гільйотиною металобази ТОВ "Харківметал". Розмір в плані $a \times a$ = 80×80 мм, товщина $\delta_{пл}$ = 8 мм. Умовна жорсткість сталевих пластин складає $\Delta = \delta_{пл} / a$ = 0,10.



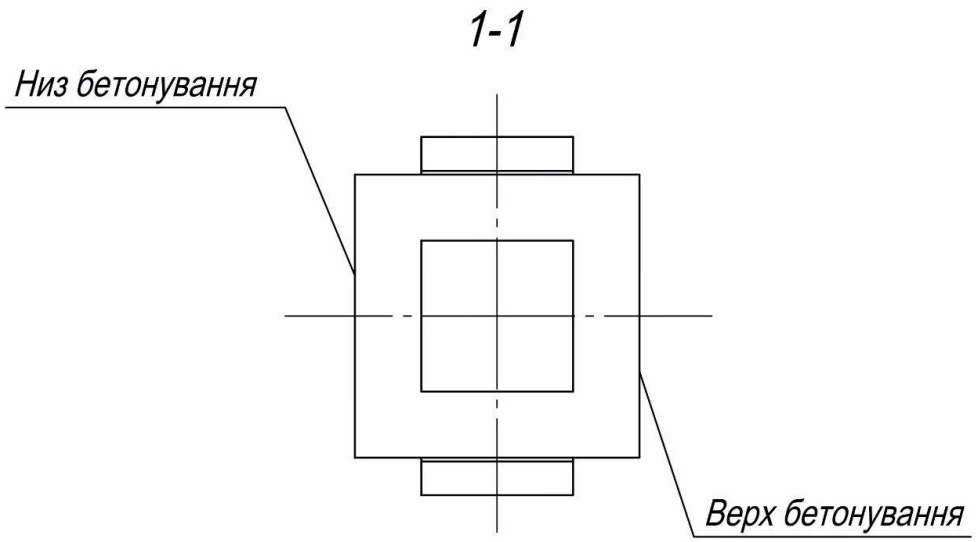


Рис. 2.1. Схема приклеювання сталевих пластин до бетонних зразків

До центру пластин ручним дуговим напівавтоматичним методом були приварені болти для передачі зусиль відриву на клейове з'єднання. Для отримання однакових результатів пластини наклеювались на ті сторони бетонного зразку, які знаходились при бетонуванні в однакових умовах. На кожен куб наклеювались чотири пластини (рис. 2.1). Висота клейового шару становила $\delta_{кл}$ = 2 мм.

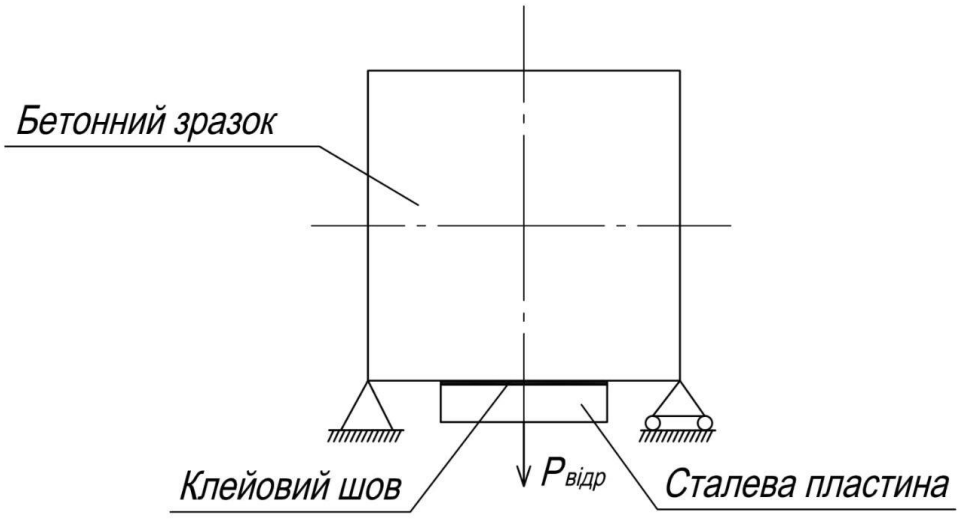


Рис. 2.2. Схема випробування клейового з'єднання на дію центрально-докладених зусиль відриву

В даних експериментах використовувався акриловий модифікований клей, покращений склад якого був розроблений за участю автора [84, 86], який рекомендується для улаштування безанкерного з'єднання будівельних конструкцій. Випробування зразків проводилися на розривних машинах марок МР-100 та МР-500 в сертифікованій лабораторії кафедри будівельних конструкцій ХНУМГ імені О.М. Бекетова.

В процесі випробувань визначалися руйнуючі зусилля і характер руйнування дослідних зразків.

За результатами даних випробувань також визначався розрахунковий опір клейового сталебетонного з'єднання. Це дозволило провести розрахунок за першим граничним станом. Для цього необхідно було мати відомості про статистичні показники великої вибірки зразків: середньоквадратичне відхилення, асиметрія, ексцес, варіація, тип розподілу тощо.

Для отримання достовірних статистичних показників необхідно мати дані випробувань великої вибірки дослідних зразків. Тому кількість зразків для всіх видів випробувань визначалась в залежності від прийнятої вірогідності отримання результатів:

$$n = \frac{(A^2 \times t^2)}{p^2}; \qquad (2.1)$$

де: A – показник мінливості; t – показник достовірності; p – показник точності.

Виходячи з наявних даних [60, 103] для з'єднань будівельних конструкцій акриловими клеями величина показника мінливості A дорівнює 10%.

Далі приймаємо достовірну вірогідність результату 0,9999, тоді показник вірогідності t = 4, а показник точності p = 5%. Отже, згідно формули (2.1):

$$n = \frac{(A^2 \times t^2)}{p^2} = \frac{(10^2 \times 4^2)}{5^2} = 64 \text{ зразка.}$$

Тобто для побудови кривих розподілу показника міцності потрібні дані випробувань не менше ніж 64 дослідних зразків. В дисертаційному дослідженні була прийнята вибірка з 67 зразків.

Обробка результатів поточного експерименту була виконана із застосуванням методу сум математичної статистики.

1) Вплив жорсткості сталевих пластин на міцність безанкерного клейового сталебетонного з'єднання. Експерименти в даному випадку проводились з використанням в зразках клейових з'єднань сталевих пластин товщиною $\delta_{пл}$ = 5, 8, 10, 12, 15, 18, 20 мм при постійних розмірах в плані $a \times a$ = 80×80 мм.

Значення умовної жорсткості для зазначених пластин відповідно складають Δ = 0,06; 0,10; 0,125; 0,15; 0,188; 0,225; 0,25. Геометричні параметри сталевих пластин під клейове з'єднання наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Геометричні параметри сталевих опорних пластин під клейове з'єднання

Розмір опорної пластини в плані, $a \times a$, мм	Товщина опорної пластини в плані, $\delta_{пл}$, мм	Умовна жорсткість пластини, $\Delta = \delta_{пл} / a$
80×80	5	0,06
80×80	8	0,10
80×80	10	0,125
80×80	12	0,15
80×80	15	0,188
80×80	18	0,225
80×80	20	0,25

Зразки пластин виготовлялись зі сталі марки Ст 08кп. Бетонні зразки виготовлялись у вигляді кубів 100×100×100 мм з бетону класу С16/20. Сталеві пластини приклеювалися за схемою, яка представлена на рис. 2.1. Випробування клейових безанкерних з'єднань проводилися за схемою, яка представлена на рис. 2.2.

2) Вплив висоти клейового шва на міцність безанкерного клейового сталебетонного з'єднання. Експерименти по визначенню впливу висоти клейового прошарку на міцність безанкерного клейового сталебетонного

з’єднання на модифікованих акрилових клеях проводились наступним чином. В дослідних зразках використовувались сталеві пластині размером $a \times a$ = 80×80 мм і $\delta_{пл}$ = 8 мм. Умовна жорсткість Δ = 0,10. Висота клейового шва приймалась відповідно $\delta_{кл}$ = 2, 4, 8, 12, 16 мм. Бетонні зразки приймались аналогічно попереднім випробуванням. Схеми приклейки пластин та випробувань дослідних зразків представлені на рис. 2.1 та рис. 2.2.

3) Вплив відстані кріплення сталевого елементу від грані будівельної конструкції на міцність безанкерного клейового сталебетонного з’єднання. Для визначення впливу цього показника на міцність клейового сталебетонного кріплення в зразках клейових кріплень використовувались пластини розміром в плані $a \times a$ = 60×60 мм, 80×80 мм, 100×100 мм та 120×120 мм при товщині сталевих пластин $\delta_{пл}$ = 8 мм. Значення умовної жорсткості дорівнюють Δ = 0,13, 0,10, 0,08 та 0,067 відповідно. У якості бетонних зразків виготовлялись куби розміром $b \times b \times b$ = 70×70×70 мм; 90×90×90 мм; 100×100×100 мм; 120×120×120 мм; 150×150×150 мм; 180×180×180 мм; 200×200×200 мм; 250×250×250 мм; 300×300×300 мм та 350×350×350 мм. В даних зразках використовувався бетон класу С16/20. Схеми приклейки пластин та випробувань на дію центрально-докладених зусиль відриву представлені на рис. 2.1 і рис. 2.2. Приклади дослідних зразків підготовлених до випробувань представлені на рис. 2.3.

Рис. 2.3. Зразки для випробувань на дію центрально-докладених зусиль відриву

Геометричні характеристики клейових з'єднань наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Геометричні характеристики клейових сталебетонних з'єднань

Розмір бетонного зразка в плані, $b \times b$, мм	Розміри опорних сталевих пластин в плані, $a \times a$, мм							
	$a \times a$ = 60×60		$a \times a$ = 80×80		$a \times a$ = 100×100		$a \times a$ = 120×120	
	b / a	$F_б$ / $F_{пр}$	b / a	$F_б$ / $F_{пр}$	b / a	$F_б$ / $F_{пр}$	b / a	$F_б$ / $F_{пр}$
70×70	1,16	1,36	-	-	-	-	-	-
90×90	1,50	2,25	1,13	1,27	-	-	-	-
100×100	1,67	2,78	1,25	1,56	1,00	1,00	-	-
120×120	2,00	4,00	1,50	2,25	1,20	1,44	1,00	1,00
150×150	2,50	6,25	1,88	3,52	1,50	2,25	1,25	1,56
180×180	3,00	9,00	2,25	5,06	1,80	3,24	1,50	2,25
200×200	3,33	11,11	2,50	6,25	2,00	4,00	1,67	2,78
250×250	-	-	3,13	9,77	2,50	6,25	2,08	4,34
300×300	-	-	-	-	3,00	9,00	2,50	6,25
350×350	-	-	-	-	-	-	2,92	8,51

4) Вплив класу бетону на міцність безанкерного клейового сталебетонного з'єднання. Для визначення впливу даного параметру на міцність клейового сталебетонного з'єднання зразки вузлів кріплення виготовлялись наступним чином. Застосовувались сталеві пластини розміром $a \times a$ = 80×80 мм і $\delta_{пл}$ = 8 мм. Умовна жорсткість дорівнює Δ = 0,10. Бетонні зразки виготовлялись у вигляді бетонних кубів класу С8/10, С12/15, С16/20, С20/25 і С25/30.

Схеми наклейки пластин і випробувань зразків представлені на рис. 2.1 і рис. 2.2. Дослідні експериментальні зразки, по визначенню впливу різних класів

бетону на міцність клейового сталебетонного з'єднання, які підготовлені до випробувань, представлені на рис. 2.4.

Рис. 2.4. Експериментальні зразки для визначення впливу різних класів бетону на міцність клейового сталебетонного з'єднання

5) Вплив розмірів, геометричної конфігурації сталевих пластин та масштабних параметрів. При визначенні впливу геометричної конфігурації сталевих пластин на міцність клейового сталебетонного з'єднання, для дослідних зразків використовувались сталеві елементи квадратної та круглої форми. Перші квадратні – розміром 80×80 мм і товщиною $\delta_{пл}$ = 20 мм, другі круглі – діаметром $d_{пл}$ = 100 мм і товщиною $\delta_{пл}$ = 20 мм. Площа цих пластин дорівнювала 81 см^2, умовна жорсткість Δ = 0,25.

При визначенні впливу розмірів сталевих елементів кріплень та масштабного параметрів для зразків клейових з'єднань використовувались пластини з розмірами: 80×80 мм і товщиною $\delta_{пл}$ = 20 мм; 100×100 мм і товщиною $\delta_{пл}$ = 25 мм; 120×120 мм і товщиною $\delta_{пл}$ = 30 мм; 150×150 мм і товщиною $\delta_{пл}$ = 38 мм із ребрами жорсткості; 200×200 мм і товщиною $\delta_{пл}$ = 50 мм із ребрами жорсткості. Ребра жорсткості приварювались до пластин

більших розмірів з метою створення їх умовної жорсткості Δ > 0,3, при цьому одночасно були підготовлені дослідні зразки для перевірки впливу умовної жорсткості та масштабних параметрів на міцність безанкерного клейового сталебетонного з'єднання. Для цього використовувались пластини розміром 80×80 мм, 100×100 мм, 120×120 мм, 150×150 мм, які мали умовну жорсткість Δ = 0,06; 0,10; 0,125; 0,15; 0,188; 0,225; 0,25.

Геометричні характеристики дослідних зразків безанкерних клейових сталебетонних з'єднань представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Геометричні характеристики дослідних зразків для визначення впливу розмірів та масштабних параметрів на міцність клейового кріплення

Розмір пластин, $a \times a$, мм	80×80	100×100	120×120	150×150 із ребрами жорсткості	200×200 із ребрами жорсткості
Умовна жорсткість пластин, Δ	$\delta_{пл}$, мм	$\delta_{пл}$, мм	$\delta_{пл}$, мм	$\delta_{пл}$, мм	$\delta_{пл}$, мм
0,06	5	6	7	9	12
0,10	8	10	12	15	20
0,125	10	12	15	18	25
0,15	12	15	18	22	30
0,188	15	18	22	28	38
0,225	18	22	27	34	45
0,25	20	25	30	38	50

Зазначені зразки вузлів кріплення приклеювалися на поверхню бетонної плити, яка була виготовлена із бетону класу С12/15. Схеми випробувань

представлені на рис. 2.2. Випробування проводились за допомогою гідравлічного приладу марки ГПНВ-5 (рис. 2.5).

Рис. 2.5. Прилад марки ГПНВ-5 для визначення міцності бетону методом відриву анкера

6) Вплив технологічних параметрів. Способи очищення бетонної поверхні під склеювання. Експерименти по визначенню зазначених параметрів на міцність з'єднань сталь-клей-бетон проводились на натурних конструкціях – балках розміром 1200×150 мм і товщиною 100 мм, які були виготовлені із бетону класу С12/15. Очищення бетонної поверхні, під подальше склеювання зі сталевими елементами кріплення, здійснювалось механічним, термічним і хімічним способами.

Ручне механічне очищення бетонної поверхні балки здійснювалось за допомогою твердосплавної бучарди. У якості механізованого інструменту використовувалась ручна шліфувальна машина марки Bosch GWS 7-115, яка

була обладнана абразивним диском і пневматичним рубальним молотком з бучардою.

Термічне очищення бетону здійснювалось з використанням паяльної лампи. В цьому випадку ділянка поверхні бетону, яка підлягала очищенню, прогрівалася при максимальному режимі роботи лампи до виникнення спеченої структури поверхневої плівки.

Хімічне очищення здійснювалось 30%-ним розчином соляної кислоти. В даному випадку ділянка поверхні бетону, яка підлягала очищенню, оброблялася кислотою до повного насичення поверхневого шару. Через шість годин після початку дії кислоти проводилась промивка поверхні бетону водою.

Для створення клейових кріплень використовувались сталеві пластини розміром 80×80 мм і товщиною $\delta_{пл}$ = 8 мм. Умовна жорсткість дорівнює Δ = 0,1.

7) Вплив сторони бетонування на міцність безанкерного клейового сталебетонного з'єднання. З метою визначення впливу даного параметру на міцність клейових кріплень в якості зразків будівельних конструкцій приймались балки розміром 1200×100×150 мм, які були виготовлені із бетону класу С12/15. Приклейка сталевих пластин здійснювалась на протилежних сторонах, які представляють низ і верх бетонування. Висота клейового шва складала $\delta_{кл}$ = 2 мм. Дані випробування проводились за схемою на рис. 2.2.

2.1.2. Випробування з'єднань на дію позацентрово-докладених зусиль

Випробування зразків клейових кріплень на дію позацентрово-докладених зусиль проводилися за схемою, яка наведена на рис. 2.5. Даний випадок нерівномірного відриву створювався шляхом позацентрового докладання зусилля відриву до зразків вузлів кріплення. Зразок вузла кріплення складався зі сталевої пластини, яка була виготовлена зі сталі марки Ст 08кп і приварених ручним дуговим напівавтоматичним методом болтів, для передачі зусиль відриву на клейове з'єднання. Болти розташовувались на пластині таким чином, щоб забезпечувались ексцентриситети докладання зусилля відриву по

відношенню до геометричного центру від 0,25*a* до 0,4*a*, де *a* – розмір сторони пластини вузла кріплення [104].

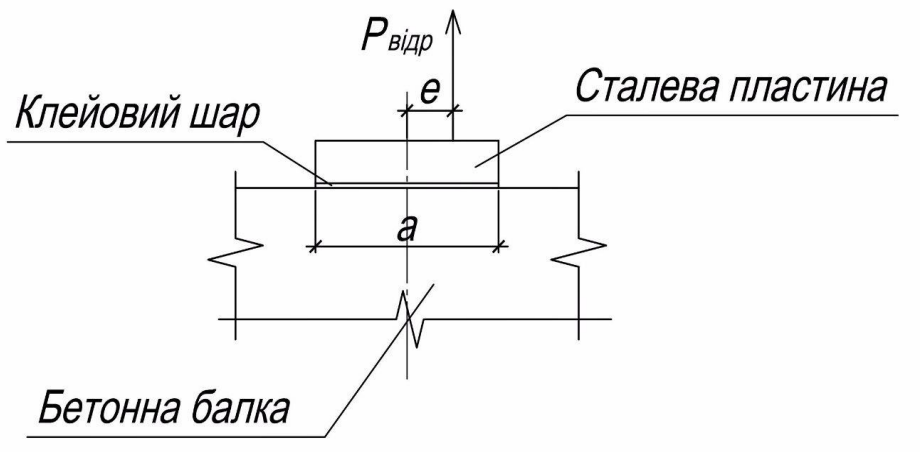


Рис. 2.5. Схема випробувань з’єднань на дію позацентрово-докладених зусиль

Умовна жорсткість сталевих пластин зразків вузлів кріплення була прийнята рівною Δ = 0,125 та Δ = 0,250. Сталеві пластини з умовною жорсткістю Δ = 0,125 були виготовлені трьох типорозмірів (*a*×*a* = 80×80 мм, 100×100 мм, 120×120 мм), а пластини з умовною жорсткістю Δ = 0,250 були виготовлені п’яти типорозмірів (*a*×*a* = 80×80 мм, 100×100 мм, 120×120 мм, 150×150 мм, 200×200 мм).

Рис. 2.6. Дослідні зразки при випробуванні на дію позацентрово-докладених зусиль

У якості зразків будівельних конструкцій використовувались бетонні балки розміром 1200×150×100 мм із бетону класу С12/15 (рис. 2.6). Очищення бетонної поверхні під склеювання здійснювалось шліфувальною машиною марки Bosch GWS 7-115.

При випробуваннях зусилля відриву докладалося з ексцентриситетом e = 0 (нульовий ексцентриситет), e = 0,25a та e = 0,4a. Для кожної величини ексцентриситету була виготовлена серія, яка складалася з шести зразків клейового з'єднання. Така кількість зразків клейових кріплень була прийнята з метою набору достатньої кількості результатів, які дозволять достовірно визначити вплив дії позацентрово-докладених зусиль на міцність клейового сталебетонного кріплення на акрилових модифікованих клеях.

2.1.3. Випробування з'єднань на сумісну дію зусиль відриву та зсуву

Випробування дослідних зразків на сумісну дію зусиль відриву та зсуву проводилися за схемою, яка приведена на рис. 2.7.

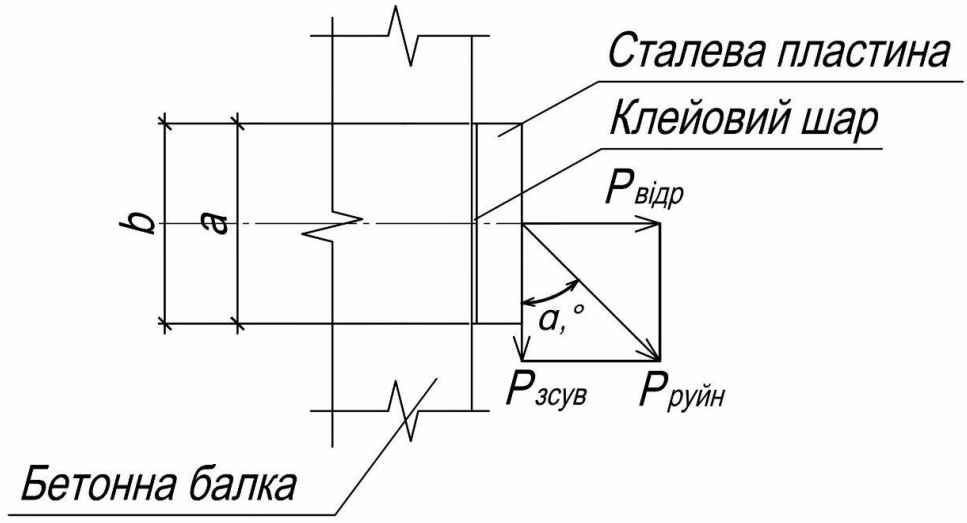


Рис. 2.7. Схема випробувань безанкерних клейових сталебетонних з'єднань на сумісну дію зусиль відриву та зсуву

Руйнуюче зусилля докладалося до геометричного центру пластини зразку вузла кріплення під різними кутами (від 0° до 90°) уздовж центральної осі. З цією метою в геометричний центр сталевих пластин приварювалися болти, через які на вузол кріплення передавалися руйнуючі зусилля.

Зразки вузлів кріплення мали два типорозміри сталевих пластин:

- квадратні $a \times a$ = 150×150 мм з умовною жорсткістю Δ = 0,06;

- прямокутні $a \times b$ = 150×200 мм з умовною жорсткістю Δ = 0,05.

У якості зразків будівельних конструкцій були використані бетонні балки розміром 1200×150 мм і товщиною 100 мм, виготовлені з бетону класу С12/15. Приклейка пластин здійснювалась на поверхню балки, яка представляла низ бетонування.

Всього було виготовлено три партії зразків дослідних клейових кріплень. У першій партії зразків вузли кріплення мали пластини розміром $a \times a$ = 150×150 мм, у другій партії розміром $a \times b$ = 150×200 мм із розташуванням меншої сторони пластини до напрямку дії руйнуючого зусилля, а в третій партії розміром $b \times a$ = 200×150 мм із розташуванням більшої сторони пластини до напрямку дії руйнуючого зусилля.

Кожна партія складалася з п’яти серій дослідних зразків, кожна з яких випробовувалась руйнуючим зусиллям, яке докладалося під кутом α = 0°, 30°, 45°, 60° та 90°. В кожній серії було випробувано по дев’ять зразків безанкерних клейових сталебетонних з’єднань.

2.1.4. Випробування з’єднань на сумісну дію згинального моменту та зусиль зсуву

Випробування дослідних зразків на сумісну дію згинального моменту та зусиль зсуву проводилося за схемою, яка приведена на рис. 2.8.

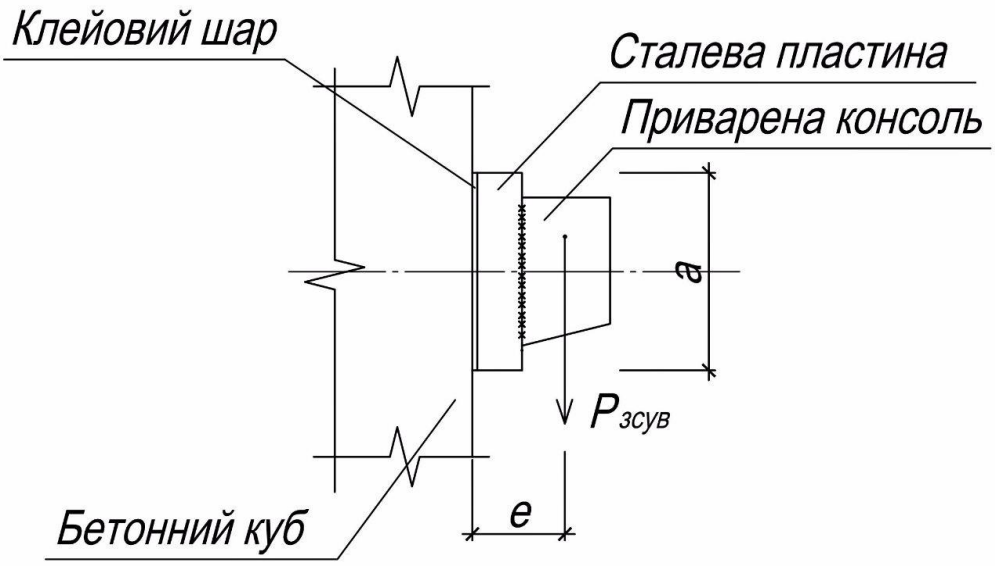


Рис. 2.8. Схема випробувань безанкерних клейових сталебетонних з'єднань на сумісну дію згинального моменту та зусиль зсуву

Дослідні зразки представляли собою куби розміром 200×200×200 мм з бетону класу С12/15 з наклеєними на поверхню зразками вузлів кріплення. Дані зразки вузлів кріплення були виготовлені у вигляді сталевих пластин, перпендикулярно до яких, по осі симетрії, були приварені жорсткі консолі для можливості докладання зусилля зсуву з різним ексцентриситетом.

Було виготовлено дві партії зразків безанкерного клейового сталебетонного з'єднання. У першій партії приклеювалися зразки вузлів кріплення з металевими пластинами розміром $a \times a$ = 80×80 мм та консоллю довжиною 100 мм. У другій партії – з пластинами $a \times a$ = 133×133 мм та консолями завдовжки 150 мм. Умовна жорсткість пластин складала Δ = 0,06, висота клейового шва $\delta_{кл}$ = 2 мм.

Партія складалася з трьох серій, в кожній з яких було по десять зразків. Перша серія зразків кожної партії була випробувана на дію зусилля зсуву, яке докладалося з ексцентриситетом e = 0 (нульовий ексцентриситет), друга – при ексцентриситеті e = 0,5a, третя – при ексцентриситеті e = a.

2.1.5. Випробування з’єднань на сумісну дію крутного моменту та зусиль зсуву

Випробування дослідних зразків на сумісну дію крутного моменту та зусиль зсуву проводились за схемою, яка приведена на рис. 2.9.

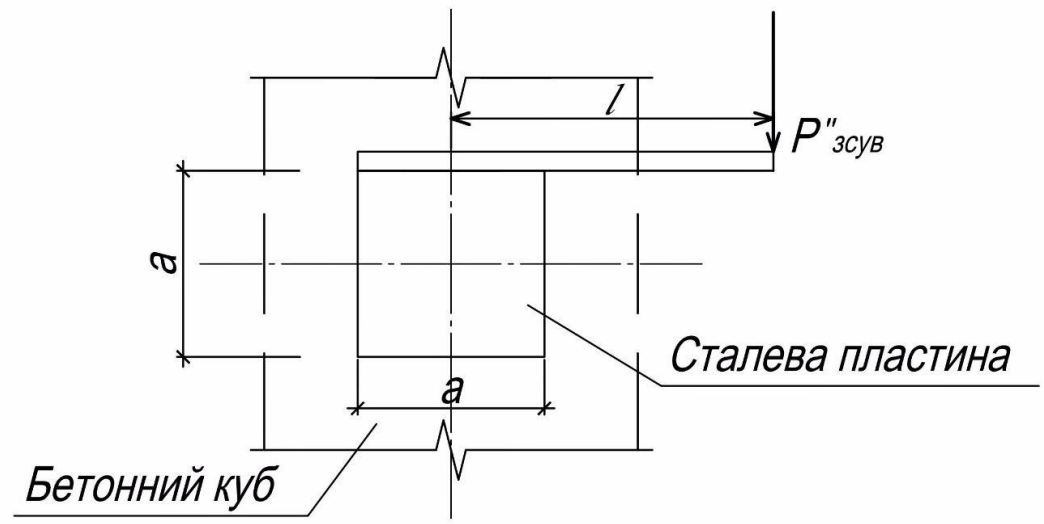


Рис. 2.9. Схема випробувань безанкерних клейових сталебетонних з’єднань на сумісну дію крутного моменту та зусиль зсуву

У поточній постановці задачі дотичні напруження зсуву дорівнюють:

$$\tau_{зсв} = \frac{P'_{зсв}}{A}, \qquad (2.2)$$

де: $P'_{зсв}$ – зусилля зсуву, Н; A – площа перерізу, м^2.

Для розрахунку дотичних напружень при крученні побудуємо розрахункову схему розподілу дотичних напружень при крученні (рис. 2.10).

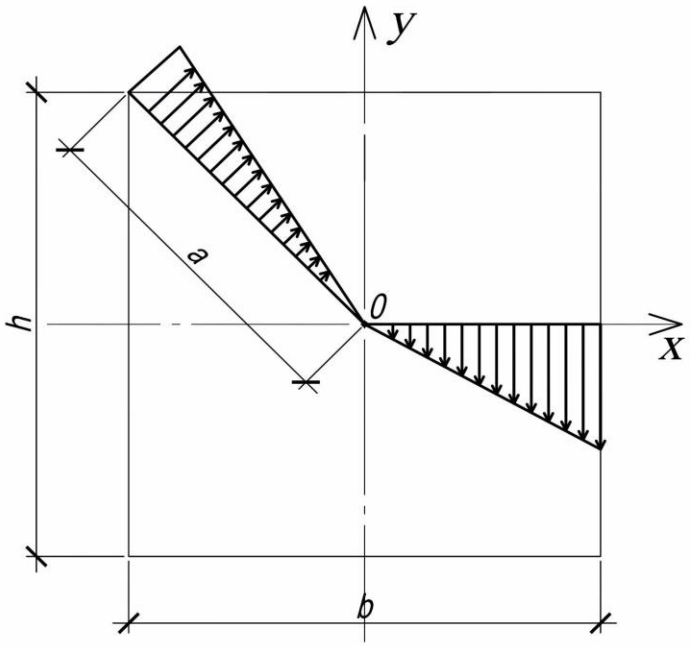


Рис. 2.10. Розподіл дотичних напружень при крученні

Дотичні напруження при крученні мають дорівнювати:

$$\tau_{\max}^{кр} = \frac{M_{кр} \times a}{J_{\rho}}, \tag{2.3}$$

де: a – максимальна відстань від центру кручення 0. Знаходиться за th. Піфагора $a = \sqrt{\left(\frac{h}{2}\right)^2 + \left(\frac{h}{2}\right)^2}$; h – висота перерізу; b – ширина перерізу; J_ρ – полярний момент прямокутного перерізу.

Полярний момент прямокутного перерізу J_ρ знаходиться за формулою:

$$J_{\rho} = J_x + J_y = \frac{bh^3}{12} + \frac{b^3 h}{12}, \tag{2.4}$$

де: J_x – сума осьових моментів інерції x; J_y – сума осьових моментів інерції y.

Отже, максимальне сумарне напруження буде в точці де напруження від кручення (2.3) досягає максимального значення.

Тоді:

$$\tau_{\max} = \tau_{\max}^{кр} + \tau_{зсв}. \tag{2.5}$$

Дослідні зразки являють собою куби розміром 200×200×200 мм з бетону класу С12/15 з наклеєними на поверхню зразками вузлів кріплення.

Зразки вузлів кріплення були виготовлені у вигляді сталевих пластин, в площині яких були приварені консолі для можливості докладання зусилля зсуву, що створює крутний момент. Було виготовлено дві партії зразків дослідних зразків. У першій партії застосовувалися зразки вузлів кріплення з пластинами розміром $a \times a = 80 \times 80$ мм та консолями довжиною 80 мм, у другій – з пластинами розміром $a \times a = 100 \times 100$ мм та консолями довжиною $3a = 300$ мм. Умовна жорсткість пластин дорівнювала $\Delta = 0{,}06$. Висота клейового шва складала $\delta_{кл} = 2$ мм. У першій партії було виготовлено три серії зразків, у другій - чотири. У кожній серії було по 10 дослідних зразків.

Навантаження, що створює сумісну дію крутного моменту та зсуву, до консолей зразків вузлів кріплення першої партії прикладалося з плечем рівним $l = 0$, $l = 0{,}5a$ та $l = a$; другої партії - $l = 0$, $l = a$, $l = 2a$ та $l = 3a$.

2.2. Математична модель безанкерного клейового сталебетонного з’єднання

Для дослідження напружено-деформованого стану, яке дозволить проводити подальший розрахунок розглянутого з’єднання, необхідно розробити розрахункову модель зазначеного стану клейового сталебетонного з’єднання. В цьому випадку розглядається осесиметрична задача теорії пружності для тришарового тіла, шари якого пов’язані між собою умовами безперервності напружень та деформацій при осесиметричному довільному навантаженні (рис. 2.11).

Багатошарова система розглядається як напівпростір, який складається з однорідних пружних шарів, пов’язаних між собою умовами безперервності напружень та деформацій.

Кожен шар характеризується трьома параметрами: товщиною h_i, модулем пружності E_i та коефіцієнтом Пуассона μ_i. Крім того, останній підстилаючий шар не обмежений у вертикальному напрямку.

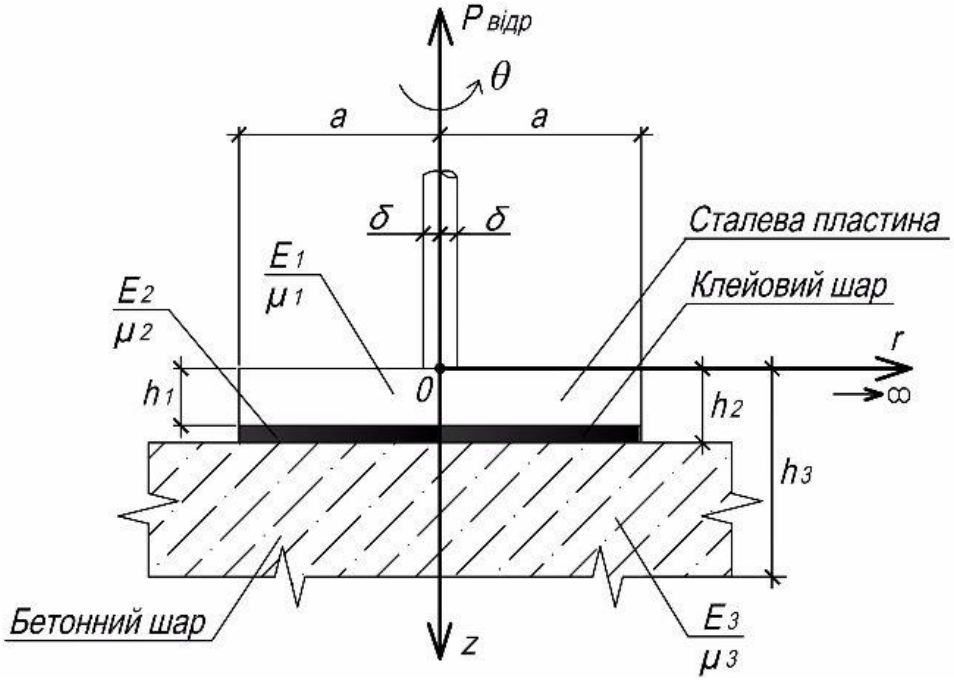


Рис. 2.11. Розрахункова модель клейового сталебетонного з’єднання

На поверхні сталевої пластини задані нормальні напруження, які розподілені симетрично щодо осі z по любому закону. Дотичні напруження на її поверхні дорівнюють нулю. Прийнята умова не має принципового значення та задана відповідно до граничних умов, що представляють практичний інтерес (випадок вертикального навантаження).

У такій постановці питання, яке розглядається, зводиться до вирішення осесиметричної задачі теорії пружності.

Компоненти тензора напружень та вектора переміщення в циліндричній системі координат було позначено наступним чином (рис. 2.12):

- σ_z - нормальне напруження на майданчику, який перпендикулярний до осі z;

- σ_r - нормальне напруження на майданчику, який перпендикулярний до осі r;

- σ_θ - нормальне напруження на майданчику, який перпендикулярний до осі θ;

- τ_{rz} - дотичні напруження;

- w - переміщення уздовж осі z;

u - переміщення уздовж осі *r*.

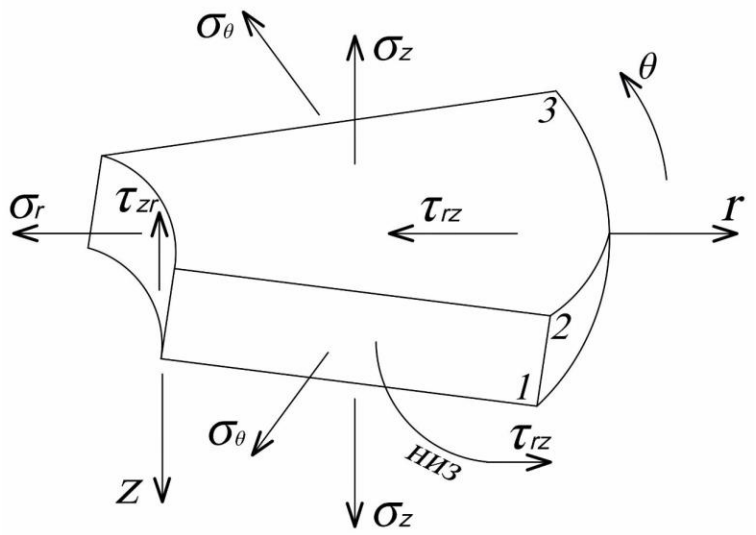


Рис. 2.12. Координатні напруження на відповідних майданчиках:
1 – майданчик *θ*; *2* – майданчик *r*; *3* – майданчик *z*.

Ф – функція напружень (функція Ері), через яку можна виразити всі компоненти напружень. В умовах плоскої осесиметричної задачі компоненти тензора напружень і вектора переміщення виражаються через функцію напружень у наступний спосіб:

$$\sigma_z = \frac{\partial}{\partial z}\left[(2-\mu)\nabla^2\Phi - \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2}\right]; \tag{2.6}$$

$$\sigma_r = \frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\nabla^2\Phi - \frac{\partial^2\Phi}{\partial r^2}\right]; \tag{2.7}$$

$$\sigma_\theta = \frac{\partial}{\partial z}\left[\mu\nabla^2\Phi - \frac{1}{r}\times\frac{\partial\Phi}{\partial r}\right]; \tag{2.8}$$

$$\tau_{rz} = \frac{\partial}{\partial z}\left[(1-\mu)\nabla^2\Phi - \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2}\right]; \tag{2.9}$$

$$w = \frac{1+\mu}{E}\left[(1-2\mu)\nabla^2\Phi + \frac{1}{r}\times\frac{\partial\Phi}{\partial r} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial r^2}\right]; \tag{2.10}$$

$$u = -\frac{1+\mu}{E}\times\frac{\partial^2\Phi}{\partial r\times\partial z}. \tag{2.11}$$

У формулах (2.6)-(2.11) ∇^2 – це гармонічний оператор в системі циліндричних координат (оператор Лапласа), який виражається наступним чином [105]:

$$\nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \times \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right).$$

Функції напружень *Φ(z,r)* задовольняє диференціальному рівнянню:

$$\nabla^4 \Phi = 0, \tag{2.12}$$

де: $\nabla^4 = \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \times \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right)^2$ - бігармонічний оператор в системі циліндричних координат.

Для побудови рішення даної задачі скористаємося наступним рішенням рівняння (2.12) в межах *i*-го шару:

$$\Phi_i^0 = \left(A_i e^{-kz} + B_i e^{kz} + D_i z e^{-kz} + C_i z e^{kz} \right) \times J_0(kz), \tag{2.13}$$

де: *Ai, Bi, Ci, Di* – невідомі коефіцієнти; *k* – довільне дійсне число; $J_0(kz)$ - функції Бесселя нульового порядку 1-го роду.

Користуючись виразом (2.13), утворюємо нове рішення рівняння (2.12). В межах *i*-го шару воно матиме наступний вигляд:

$$\Phi_i = \int_0^r \left(A_i e^{-kz} + B_i e^{kz} + D_i z e^{-kz} + C_i z e^{kz} \right) \times J_0(kz) dk. \tag{2.14}$$

Відносно коефіцієнтів *Ai, Bi, Ci* та *Di* припускаємо, що вони задовольняють умовам, які забезпечують рівномірну збіжність невласних інтегралів (2.14) у всій області зміни параметрів.

Так як напруження і деформації повинні обертатися в нуль на нескінченності, то для $i = 3$ підстилаючого шару $B_3 = C_3 = 0$.

Тоді функції напружень для кожного шару прийнятої системи будуть мати наступний вигляд. Для першого шару:

$$\Phi_1 = \int_0 \left(A_1 e^{-kz} + B_1 e^{kz} + D_1 z e^{-kz} + C_1 z e^{kz}\right) \times J_0(kz); \tag{2.15}$$

Для другого шару:

$$\Phi_2 = \int_0 \left(A_2 e^{-kz} + B_2 e^{kz} + D_2 z e^{-kz} + C_2 z e^{kz}\right) \times J_0(kz); \tag{2.16}$$

Для третього шару:

$$B_3 = C_3 = 0; \tag{2.17}$$

$$\Phi_3 = \int_0 \left(A_3 e^{-kz} + B_3 e^{kz} + D_3 z e^{-kz} + C_3 z e^{kz}\right) \times J_0(kz). \tag{2.18}$$

Для визначення коефіцієнтів *Ai*, *Bi*, *Ci* та *Di* дотримуємося граничних умов на поверхні та умов сполучення між шарами.

Представляємо функцію розподілу нормального навантаження по поверхні першого шару (сталевої пластини) за допомогою інтеграла Фур'є-Бесселя:

$$\left|\sigma_{z_1}\right|_{z=0} = f(r); \tag{2.19}$$

При відомих умовах, що накладаються на функції *f(r)*, які безумовно виконуються для всіх практично можливих видів навантаження, справедливий такий вираз [106, 107]:

$$f(r) = \int_0^a J_0(kr) k dR \times \int_0^\delta f(t) J_0(kt) t dt\,. \tag{2.20}$$

Вислову (2.18) можна надати інший вид, якщо його визначити наступним чином:

$$k \int_0^\delta f(t) J_0(kt) t dt - Y(k); \tag{2.21}$$

$$f(r) = \int_0^a J_0(kr) \times Y(k) dk\,. \tag{2.22}$$

Компоненти напружень σ_{z1} та τ_{rz1} для першого шару визначаються згідно формул (2.6), (2.9) та (2.14):

$$\sigma_{z_1} = \int_0 k^2 J_0(kr)\{e^{-kz}[(1-2\mu_1)D_1 + k(A_1 + D_1 z)] + \\ + e^{-kz}[(1-2\mu_1)C_1 - k(B_1 + C_1 z)]\}dk; \tag{2.23}$$

$$\tau_{rz_1} = -\int_0 k^2 J_1(kr)\{e^{-kz}[(2\mu_1 D_1 - k(A_1 + D_1 z)] - \\ - e^{-kz}[(2\mu_1 C_1 + k(B_1 + C_1 z)]\}dk. \tag{2.24}$$

Компоненти напружень на поверхні першого шару повинні задовольняти граничним умовам задачі:

$$\left|\sigma_{z_1}\right|_{z=0} = f(r);\ \left|\tau_{rz_1}\right|_{z=0} = 0,$$

- або в розгорнутому вигляді на підставі виразів (2.19)-(2.21):

$$f(r) = \int_0^\infty k^2 J_0(kr)[1-2\mu_1)D_1 + kA_1 + (1-2\mu_1)C_1 - kB_1] \times dk = \int_0 J_0(kr)Y(k)dk; \tag{2.25}$$

$$\int_0^\infty k^2 J_1(kr)(2\mu_1 D_1 - kA_1 - 2\mu_1 C_1 - kB_1)dk = 0. \tag{2.26}$$

Співвідношення (2.25) та (2.26) повинні виконуватися при будь-якому значенні *r*, тому:

$$(1-2\mu_1)D_1 + kA_1 + (1-2\mu_1)C_1 - kB_1 = \frac{Y(k)}{k^2}; \tag{2.27}$$

$$2\mu_1 D_1 - kA_1 - 2\mu_1 C_1 - kB_1 = 0. \tag{2.28}$$

Для вирішення задачі на контактах сполучення шарів системи були прийняті граничні умови з урахуванням вимог безперервності компонентів напружень σ_{zi} та τ_{rzi} і переміщень u_i, w_i на межах розділу шарів з урахуванням прийнятих граничних умов були визначені напруження та переміщення на контактах клей-сталь і клей-бетон [108, 109].

2.3. Енергетична оцінка критерію напружено-деформованого стану пропонованої акрилової композиції під безанкерне кріплення

Сучасний напрям розвитку будівельної галузі зумовлює прямий пошук конструктивних рішень механічних систем, які паралельно розвиваються у двох напрямах:

- створення елементів (конструкцій, кріплень) з максимальною здатністю нести навантаження та/або жорсткістю при заданій витраті матеріалів;

- створення елементів (конструкцій, кріплень) з мінімальною витратою матеріалів при заданому ресурсі.

В обох випадках проблема зводиться до постановки і рішення нелінійних задач раціоналізації (оптимізації) [110]. Поняття “раціональна конструкція” вдалося дещо конкретизувати і трансформувати за допомогою наукових досліджень Г.В. Василькова та В.С. Шмуклера. Згідно з вказаними вченими, ідеологія постановок задач прямого проектування передбачає відображення двох обставин:

- введення у якості критерію єдиної функції мети;

- введення в обмеження ізоперіметричної умови, пов’язаної з управлінням напружено-деформованого стану (НДС) системи.

У цьому випадку може бути досягнуто значне спрощення постановок задач раціоналізації параметрів конструктива. Передбачається, що однаковий запис функції мети відображає можливість наближеної еквівалентної заміни традиційних критеріїв (вартість, вага, обсяг та інші) одним, пов’язаним при цьому з характером і особливостями НДС.

Також, важливо зазначити, що потенційною енергією деформації може володіти не тільки система взаємодіючих тіл, але й окремо взяте тіло, що деформується.

Методи оцінки деформованості отримали свій розвиток головним чином у наукових роботах Г.О. Смірнова-Аляєва [111], В.Л. Колмогорова [112, 113],

В.А. Огороднікова [114]. Наприклад, В.Л. Колмогоров запропонував наступний критерій деформованості без руйнування:

$$\psi = \int_0^t E \times (t-\tau) \times B(\tau) \frac{\varepsilon_0(\tau)}{e_n} d\tau < 1, \tag{2.29}$$

де: Ψ – величина, що характеризує використання ресурсу пластичності; τ, t – величина часу, або деякий параметр, який її заміняє; $E \times (t-\tau)$ – коефіцієнт, що враховує самовідновлюваність дефектів при високих температурах, та який монотонно убуває від 1 до 0 зі збільшенням аргументу; B – коефіцієнт, який враховує історію деформації.

Проте, використання цього критерію ускладнюється тим, що в літературі не наводяться дані о коефіцієнтах E та B при різних процесах пластичного деформування. Тому ці коефіцієнти зазвичай приймаються рівними одиниці, а отже цей критерій можливо представити у наступному вигляді:

$$\int_0^{e_0} \frac{de_0}{e_n(e_0)} < 1. \tag{2.30}$$

В.С. Шмуклер у своїй роботі [115] відзначив, що: “для побудови еталонного рішення цілком доцільно використання нових положень, які засновані на енергетичних принципах, а саме твердження про те, що для регульованих систем з постійним обсягом матеріалу, кількістю зовнішніх і внутрішніх зв’язків (зовнішні параметри) під дією статичного зовнішнього навантаження – власної ваги, потенційна енергія деформації після перебудови досягає нижньої межі на раціональному поєднанні геометричних параметрів”.

Кожна з частин щільності потенційної енергії деформації визначається за методом розрахунку В.С. Шмуклера [115]:

$$e_{nc} = \frac{9}{2} K \times \varepsilon_0^2 + \int_0^{\varepsilon_{nc}} \sigma_c d\varepsilon_c; \tag{2.31}$$

$$e_{nt} = \frac{9}{2} K \times \varepsilon_0^2 + \int_0^{\varepsilon_{nt}} \sigma_t d\varepsilon_t; \tag{2.32}$$

$$e_{nsh} = \int_0^{\varepsilon_{nsh}} \tau d\gamma; \tag{2.33}$$

$$K = \frac{E_0}{3 \times (1 - 2 \times \nu)}; \tag{2.34}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{3} I_1(T_\varepsilon). \tag{2.35}$$

де: K – об'ємний модуль деформації; $I_1(T_\varepsilon)$ – перший інваріант тензора деформацій; E_0 – початковий модуль деформації першого роду матеріалу.

При цьому, сам процес деформування матеріалу представлений у вигляді полінома сьомого (непарного ступеня):

$$\sigma = \alpha_1 \varepsilon + \alpha_3 \varepsilon^3 + \alpha_5 \varepsilon^5 + \alpha_7 \varepsilon^7. \tag{2.36}$$

До характеристик виду напружено-деформованого стану відносяться параметри Надаї-Лоде відповідно для напружень та деформацій:

$$\begin{gathered} \chi_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}; \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma \text{ - головні нормальні напруження;} \\ \chi_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}, \varepsilon_1 \geq \varepsilon_2 \geq \varepsilon_3 \text{ - головні лінійні деформації.} \end{gathered} \tag{2.37}$$

Відмінною особливістю використання параметра Надаї-Лоде в математичних моделях механічних властивостей твердих тіл при визначенні видів напружених станів є постійне перебування в рамках алгебраїчної нерівності $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ [116]. Те ж саме відноситься до нерівності для головних деформацій. Якщо величина одної з напруг порушує алгебраїчну нерівність, то слід перенумерувати діючі напруження та змінити нумерацію осей напружень. При цьому об'ємний напружений стан опиняється зі змінним видом навантаження та переходить в класифікацію складного навантаження.

Величина параметра Надаї-Лоде визначає вид об'ємного напруженого стану. За величиною параметра Надаї-Лоде для реалізованого деформування визначається і вид деформування.

χ_ε - параметр Надаї-Лоде деформованого стану, який знаходиться в діапазоні $(-1 \leq \chi_\varepsilon \leq +1)$, при цьому:

- у випадку "узагальненого" розтягу $\chi_\varepsilon = -1; e_u = e_{nc}$;

- у випадку “узагальненого” стиску $\chi_\varepsilon = +1; e_u = e_{nt}$;

- у випадку “узагальненого” зсуву $\chi_\varepsilon = 0; e_u = e_{nsh}$.

Після визначення α_1, α_2, α_3 вираз (2.36) отримує форму:

$$e_n = 0{,}5\chi_\varepsilon^2[(\chi_\varepsilon + 1)e_{nc} - (\chi_\varepsilon - 1)e_{nt}] + (1 - \chi_\varepsilon^2)e_{nsh}, \qquad (2.38)$$

де: e_n – нормована щільність потенційної енергії деформації; e_{nc}, e_{nt}, e_{nsh} – нормовані значення щільності потенційної енергії деформації при розтягу, стиску та зсуві відповідно.

Вираз (2.38) є критерієм, який визначає експлуатаційний стан раціоналізованого елемента у локальній зоні, точці, кінцевому елементі.

На базі сучасних принципів енергетичної раціоналізації матеріалів були проведені натурні лабораторні випробування зразків пропонованого адгезиву, для подальшого безанкерного кріплення конструктивних елементів, під дією відповідних зовнішніх навантажень.

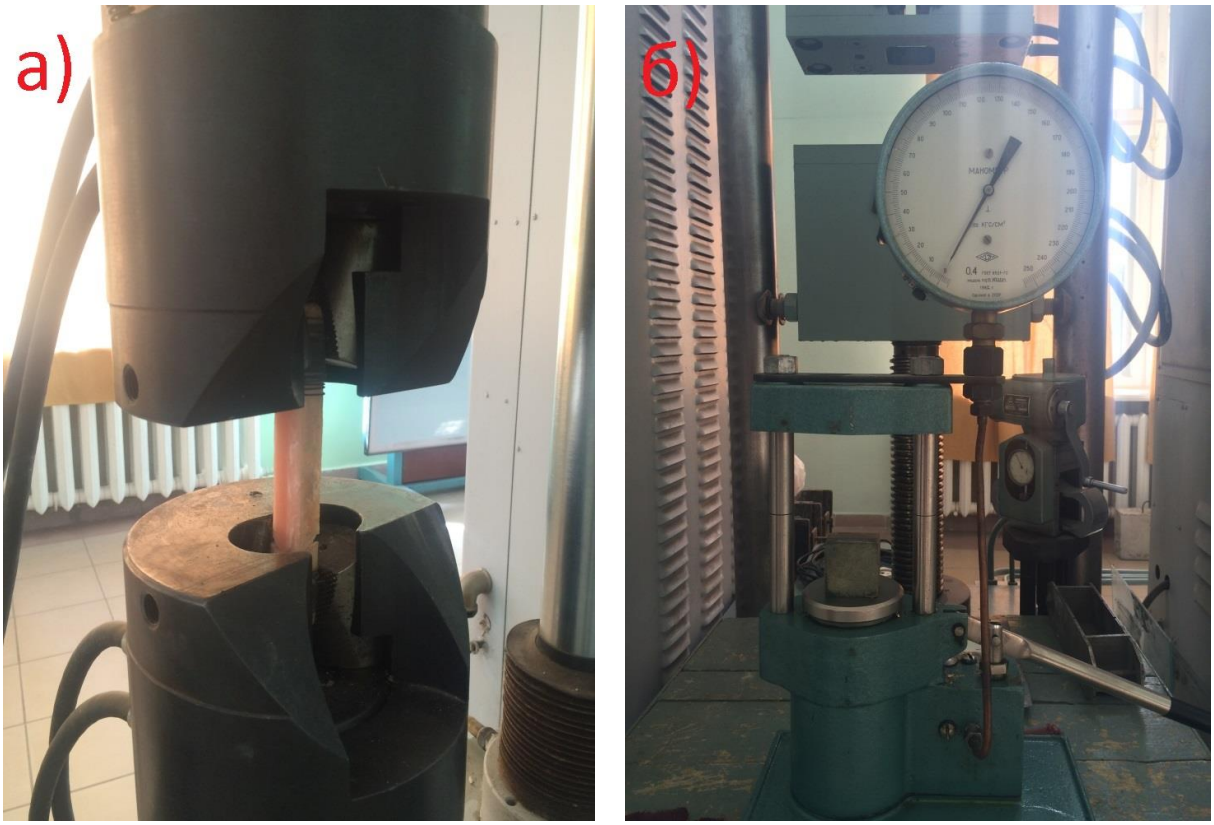


Рис. 2.13. Випробування блочних зразків клейового матеріалу для побудови діаграм *σ*-*ε*: *а* – при розтягу; *б* – при стиску.

Зразки для випробувань на розтяг у вигляді лопаток із загальною довжиною 150 мм, шириною робочої частини 10 мм і довжиною робочої частини 60 мм виточували механічно (рис. 2.13, а). Зразки для випробувань на стиск квадратного вигляду шириною 50 мм і висотою (довжиною) 50 мм також виточували механічно із заготівель, які використовували для випробувань на розтяг (рис. 2.13, б).

Для випробувань на зсув механічно виточували трубчасті зразки із загальною довжиною 250 мм, довжиною робочої частини 120 мм, внутрішнім діаметром робочої частини 30 мм, зовнішнім діаметром робочої частини 34 мм. Механічні випробування на зсув проводили на випробувальній машині "Instron-1122" (рис. 2.14).

Рис. 2.14. Прилад марки Instron-1122 для визначення параметрів деформування матеріалу

Метод визначення величини зсуву полягає у випробуванні зразків при крученні. Тоді у якості показників використовуються умовна (зміщена) межа плинності і руйнівне зусилля при зсуві. Деформацію при зсуві визначають як

добуток відносного кута закручування на радіус зразка. Відносну деформацію при зсуві визначають як співвідношення деформації при зсуві до бази вимірювання за формулою [117]:

$$\varepsilon = \frac{r\varphi}{l} \times 100\%, \tag{2.39}$$

де: r – радіус зразка; l – база зразка; φ – кут закручування на обраній базі.

Напруження при побудові діаграм σ-ε для розтягу і стиску обчислювалось на вихідний переріз. Руйнуюче напруження при зсуві визначають за формулою:

$$\sigma = \frac{M}{2\pi r_{зсв}^2 \delta}, \tag{2.40}$$

де: M – крутний момент в точці вимірювання; $r_{зсв}$ – середній радіус зразка в робочій частині, що визначається за формулою $r_{зсв} = \frac{(r_0 + r_i)}{2}$; r_i – внутрішній радіус робочої частини зразка; r_0 – зовнішній радіус робочої частини зразка; δ – товщина стінки робочої частини зразка.

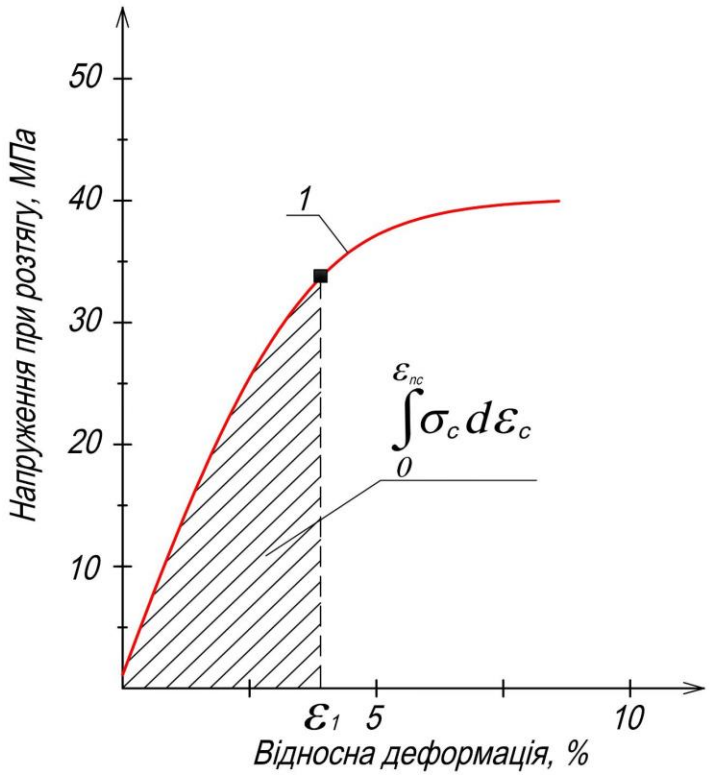


Рис. 2.15. Діаграма деформування пропонованої акрилової модифікованої композиції під безанкерне кріплення при дії зусиль розтягу

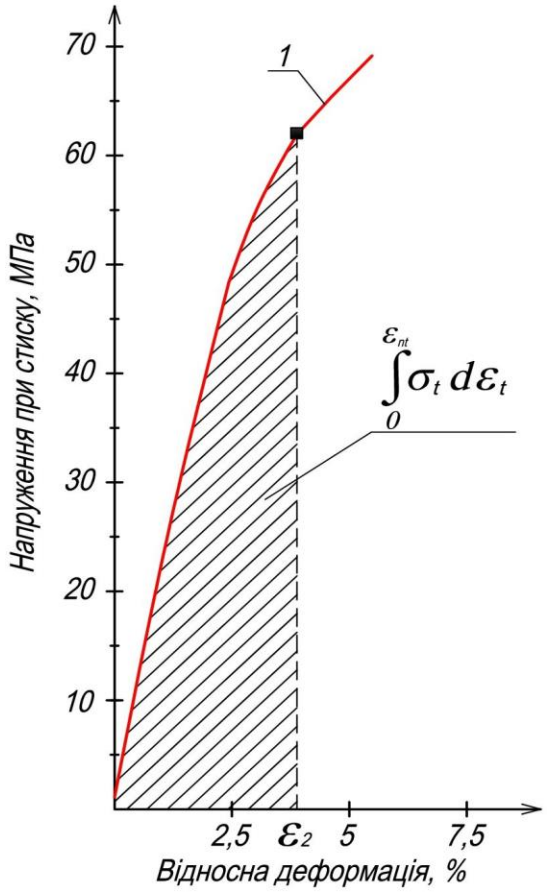


Рис. 2.16. Діаграма деформування пропонованої акрилової модифікованої композиції під безанкерне кріплення при дії зусиль стиску

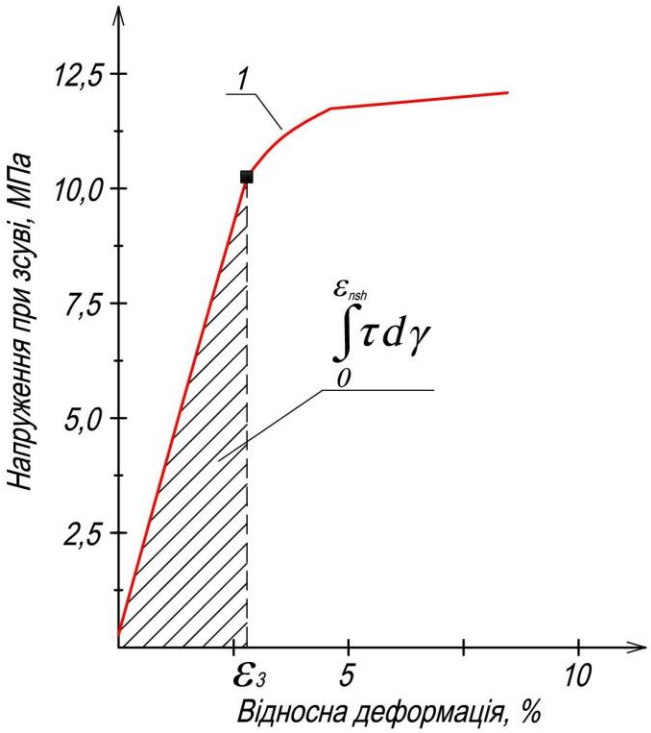


Рис. 2.17. Діаграма деформування пропонованої акрилової модифікованої композиції під безанкерне кріплення при дії зусиль зсуву

Лінійні деформації були розраховані згідно з діаграмами деформування клейового матеріалу на рис. 2.15-2.17. У даному випадку e_n – це граничне значення щільності енергії деформації, яке відповідає умовному граничному значенню початку пластичності деформування клейового матеріалу. Отже, згідно з рис. 2.15-2.17 $\varepsilon_1 = 0{,}042$; $\varepsilon_2 = 0{,}040$; $\varepsilon_3 = 0$ - тому що в напрямку третьої головної осі деформації відсутні. Умова $\varepsilon_1 \geq \varepsilon_2 \geq \varepsilon_3$ виконується, перенумерація напружень не потрібна.

Чисельно розрахуємо кожну з частин щільності потенційної енергії деформації за допомогою обробки експериментальних даних (2.31-2.35):

$$e_{nc} = \frac{9}{2} K \times \varepsilon_0^2 + \int_0^{\varepsilon_{nc}} \sigma_c d\varepsilon_c = 71{,}42;$$

$$e_{nt} = \frac{9}{2} K \times \varepsilon_0^2 + \int_0^{\varepsilon_{nt}} \sigma_t d\varepsilon_t = 122{,}02;$$

$$e_{nsh} = \int_0^{\varepsilon_{nsh}} \tau d\gamma = 16{,}50;$$

$$K = \frac{E_0}{3 \times (1 - 2 \times \nu)} = 7{,}1 \text{ ГПа};$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{3} I_1(T_\varepsilon) = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = \frac{1}{3}(0{,}042 + 0{,}040) = 0{,}027.$$

Розрахуємо значення параметру Надаї-Лоде для пропонованого клейового матеріалу (2.37):

$$\chi_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} = \frac{2 \times 0{,}040 - 0{,}042 - 0}{0{,}042 - 0} = 0{,}904.$$

Отже, нормована щільність потенційної енергії деформації e_n буде дорівнювати (2.38):

$$e_n = 0{,}5\chi_\varepsilon^2 \left[(\chi_\varepsilon + 1)e_{nc} - (\chi_\varepsilon - 1)e_{nt}\right] + (1 - \chi_\varepsilon^2)e_{nsh} = 0{,}5 \times 0{,}904^2 \times$$
$$\times \left[(0{,}904 + 1) \times 71{,}42 - (0{,}904 - 1) \times 122{,}02\right] + (1 - 0{,}904^2) \times 16{,}50 = 63{,}26 \Gamma\Pi a.$$

$$e_n = 63{,}26 \times 10^3 \text{ МПа}.$$

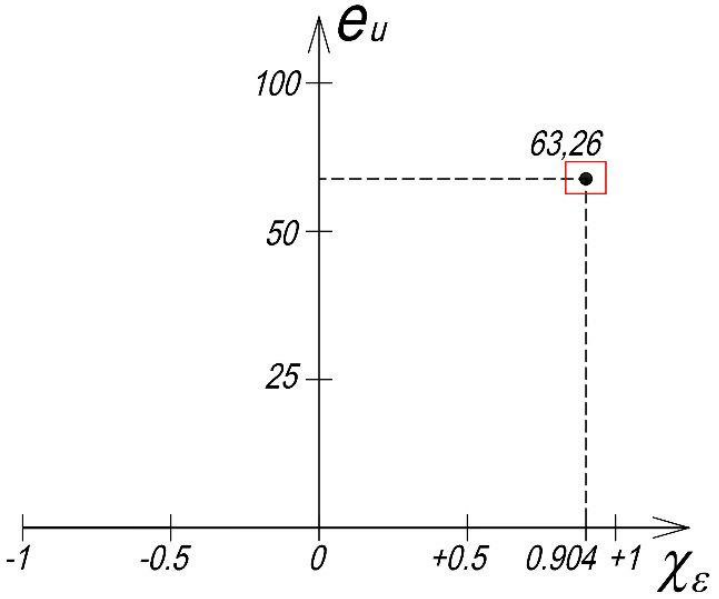


Рис. 2.18. Енергетичний параметр пропонованої акрилової модифікованої композиції в точці початку пластичності деформування клейового матеріалу

Необхідна пластичність є функцією технологічних параметрів та властивостей матеріалу. Якщо вона “розташовується” під величиною пластичності (e_0) то матеріал здатний витримати технологічну операцію без руйнування. В іншому випадку необхідно або підвищити пластичність матеріалу (наприклад, нагріванням), або змінити необхідну пластичність. Це досягається, наприклад, докладанням гідростатичного тиску.

Передбачається, що деформування відбувається без руйнування, якщо накопичена деформація задовольняє нерівності:

$$e_0 < e_n(\chi_\varepsilon). \tag{2.41}$$

Припускаємо, що в пружній області при лінійному зв’язку між напруженням і деформацією:

$$e_0 = \frac{1}{2} \times \sigma \times \varepsilon = \frac{\sigma^2}{2E_0}. \tag{2.42}$$

У нашому випадку, в точці з максимальним напруженням:

$$e_0 = \frac{3{,}67^2}{2 \times 4{,}26 \times 10^3} = 0{,}86 \times 10^3 \text{ МПа}.$$

$0{,}86 \times 10^3$ МПа < $63{,}26 \times 10^3$ МПа - умова (3.57) виконується.

Висновок за розрахунком: Виконаний розрахунок за принципами енергетичної раціоналізації матеріалів (з урахуванням щільності потенційної енергії деформації) свідчить про те, що пропонована акрилова композиція під безанкерне кріплення має суттєвий запас конструктивної міцності:

- за напруженням - в 6 раз;

- за енергією деформації – в 36 раз (e_0 при пружній деформації пропорційно квадрату напружень σ).

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2:

1. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень з визначення показників короткочасної міцності клейових сталебетонних з'єднань при дії центрально-докладених зусиль, а також дії різних видів позацентрово-докладених зусиль з відповідним теоретичним обґрунтуванням.

2. Виготовлено дослідні зразки вузлів кріплення для проведення експериментальних досліджень під дією зовнішніх руйнуючих зусиль, обрано прилади та обладнання для проведення випробувань.

3. Розроблена постановка осесиметричної плоскої задачі теорії пружності в циліндричній системі координат з урахуванням тришарової моделі, шари якої пов'язані між собою умовами безперервності напружень та деформацій при осесиметричному довільному навантаженні. Обраний необхідний метод рішення даної осесиметричної задачі, який полягає у визначенні компонентів тензора напружень і вектора переміщення через функцію напружень (функцію Ері) з урахуванням прийнятих граничних умов.

4. Побудовано діаграми деформування σ-ε клейового матеріалу під дією відповідних зовнішніх зусиль (розтяг, стиск, зсув).

5. Виконано чисельний розрахунок за принципами енергетичної раціоналізації матеріалів з використанням критерію Василькова-Шмуклера, який свідчить про те, що пропонована акрилова композиція під безанкерне з'єднання має суттєвий запас конструктивної міцності (за напруженням - в 6 раз; за енергією деформації – в 36 раз).

РОЗДІЛ 3
ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ТА МІЦНОСТІ БЕЗАНКЕРНИХ КЛЕЙОВИХ СТАЛЕБЕТОННИХ З'ЄДНАНЬ

3.1. Результати експериментів по визначенню короткочасної міцності безанкерних клейових сталебетонних з'єднань

3.1.1. Міцність з'єднання при дії центрально-докладених зусиль відриву та статистична обробка одержаних результатів

Експерименти по визначенню короткочасної міцності клейових сталебетонних з'єднань на акрилових модифікованих клеях показали наступне. Одержані результати експерименту приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Результати випробувань дослідних зразків
на дію центрально-докладених зусиль розтягу (відриву)

Варіаційний ряд	Руйнуюче зусилля, кН	Міцність з'єднання, МПа
1	23,3	2,96
2	23,6	3,01
3	23,8	3,03
4	24,1	3,06
5	24,3	3,08
6	24,5	3,10
7	24,5	3,11
8	24,8	3,14
9	24,8	3,14
10	24,9	3,15
11	25,1	3,15
12	25,1	3,16
13	25,3	3,17
14	25,3	3,18
15	25,4	3,18

Продовження табл. 3.1

16	25,5	3,20
17	25,5	3,21
18	25,5	3,21
19	25,7	3,22
20	25,7	3,22
21	25,7	3,23
22	25,9	3,24
23	25,9	3,24
24	26,0	3,25
25	26,0	3,25
26	26,0	3,26
27	26,1	3,26
28	26,1	3,26
29	26,1	3,27
30	26,2	3,27
31	26,2	3,28
32	26,3	3,29
33	26,3	3,29
34	26,5	3,30
35	26,6	3,21
36	26,7	3,31
37	26,7	3,32
38	26,8	3,33
39	26,8	3,34
40	26,8	3,34
41	27,0	3,35
42	27,0	3,36
43	27,1	3,37
44	27,1	3,38
45	27,3	3,38
46	27,3	3,39
47	27,5	3,40
48	27,5	3,41

Продовження табл. 3.1

49	27,7	3,42
50	27,7	3,42
51	27,8	3,43
52	27,8	3,43
53	28,0	3,46
54	28,0	3,46
55	28,2	3,48
56	28,3	3,49
57	28,3	3,49
58	28,5	3,52
59	28,5	3,52
60	28,7	3,54
61	28,7	3,54
62	28,9	3,57
63	29,0	3,58
64	29,0	3,58
65	29,2	3,59
66	29,4	3,63
67	29,7	3,67

Рис. 3.1. Характер когезійного руйнування з’єднання сталь-клей-бетон на акрилових модифікованих клеях

Аналіз таблиці 3.1 свідчить про те, що руйнуючі зусилля змінювались в діапазоні від 23,3 кН до 29,7 кН, а міцність з'єднання в діапазоні від 2,96 МПа до 3,67 МПа. При цьому, руйнування дослідних зразків мало суто когезійний характер, тобто по шару бетону (рис. 3.1).

Для визначення розрахункового опору клейового з'єднання за допомогою методу математичної статистики (метод сум) таблиця 3.1 була перетворена в таблицю 3.2, в якій показники міцності були розбиті по класам. В даній таблиці також були розраховані і представлені допоміжні величини для розрахунку статистичних показників і побудови кривої розподілу міцності з'єднання.

Таблиця 3.2

Границі класів, МПа	p	$a_1 = 56$	$a_2 = 65$	$a_3 = 52$	$a_4 = 27$
2,96-2,99	1	1	1	1	1
3,00-3,04	2	3	4	5	6
3,05-3,09	2	5	9	14	20
3,10-3,14	4	9	18	32	0
3,15-3,19	6	15	33	0	0
3,20-3,24	8	23	0	0	0
3,25-3,29	10	0	0	0	0
3,30-3,34	7	34	0	0	0
3,35-3,39	6	27	81	0	0
3,40-3,44	6	21	54	115	0
3,45-3,49	5	15	33	61	101
3,50-3,54	4	10	18	28	40
3,55-3,59	4	6	8	10	12
3,60-3,67	2	2	2	2	2
	$n = 67$	$b_1 = 115$	$b_2 = 196$	$b_3 = 214$	$b_4 = 155$
$a - b$		-59	-131	-164	-128
$a + b$		171	261	268	182

У якості помилкового нуля була вибрана варіанта (межа класів 32,0-32,5), яка мала найбільшу частоту - 10. В клітинках строки, яка містить помилковий нуль, були записані нулі. В четвертому стовпчику (і далі в наступних) над і під вже розміщеним нулем було записано ще по одному нулю. У клітинках третього стовпчику, які залишились незаповненими, були записані послідовно накопичені частоти: 1; 1+2=3; 3+2=5; 5+4=9; 9+6=15; 15+8=23. Склавши всі накопичені частоти, було отримано число a_1 = 56, яке було розміщено у верхню клітинку третього стовпчику. У решті клітинок третього стовпчика, які залишились під нулем незаповненими, були записані наступні послідовно накопичені частоти: 2; 2+4=6; 6+4=10; 10+5=15; 15+6=21; 21+6=27; 27+7=34. Склавши всі накопичені частоти, було отримано число b_1 = 115, яке було розміщено у нижню клітинку третього стовпчику. Аналогічно заповнюється четвертий стовпчик (і далі наступні), у якому вже підсумовуються частоти третього стовпчика. Склавши всі накопичені частоти, які були розташовані над нулем, було отримано число a_2 = 65, яке було розміщено у верхню клітинку четвертого стовпчику. Сума накопичених частот, які були розташовані під нулем, дорівнює числу b_2.

Значення допоміжних сум [118, 119]:

$$S_1 = a_1 - b_1 = -59;$$

$$S_2 = (a_1 + b_1) + 2 \times (a_2 + b_2) = 171 + 2 \times 261 = 693;$$

$$S_3 = (a_1 - b_1) + 6 \times (a_2 - b_2) + 6 \times (a_3 - b_3) = -59 + 6 \times (-131) + 6 \times (-164) = -1829;$$

$$S_4 = (a_1 + b_1) + 14 \times (a_2 + b_2) + 36 \times (a_3 + b_3) + 24 \times (a_4 + b_4) = 171 + 14 \times 261 + 36 \times$$
$$\times 258 + 24 \times 182 = 17841.$$

Сума других, третіх та четвертих ступенів:

$$\sum x^2 = S_2 - \frac{S_1}{n} = 693 - \frac{(-59)^2}{67} = 641;$$

$$\sum x^3 = S_3 - \frac{3 \times S_1 \times S_2}{n} + \frac{2 \times S_1^3}{n^2} = -1829 - \frac{3 \times (-59) \times 693}{67} + \frac{2 \times (-59)^3}{67^2} = -90;$$

$$\sum x^4 = S_4 - \frac{4 \times S_1 \times S_3}{n} + \frac{6 \times S_1^2 \times S_2^2}{n^2} - \frac{3 \times S_1^4}{n^3} = 17841 - \frac{4 \times (-59) \times (-1829)}{67} +$$

$$+ \frac{6 \times (-59)^2 \times 693}{67^2} - \frac{3 \times (-59)^4}{67^3} = 14502.$$

У таблиці 3.3 наведені допоміжні дані для розрахунку статистичних величин.

Таблиця 3.3

S_1	S_2	S_3	S_4	Σx^2	Σx^3	Σx^4
-59	693	-1829	17841	641	-90	14502

При способі сум, необхідне для обчислень показників асиметрії та ексцесу середньоквадратичне відхилення q було розраховано без урахування класового проміжку поправки на мале число спостережень, тобто за формулою:

$$q = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n}} = 3. \tag{3.1}$$

Таким чином, згідно з формулою (3.1), необхідні величини для обчислення показників асиметрії та ексцесу дорівнюють:

$$\sum x^3 = -90;$$

$$\sum x^4 = 14502;$$

$$n = 67; q = 3.$$

Показник асиметрії дорівнює:

$$A = \frac{\sum x^3}{n \times q^3} = \frac{-90}{67 \times 3^3} = -0{,}05. \tag{3.2}$$

Показник ексцесу дорівнює:

$$E = \frac{\sum x^4}{n \times q^4} - 3 = \frac{-90}{67 \times 34} - 3 = -0{,}33. \tag{3.3}$$

Помилки показників асиметрії та ексцесу в даному випадку дорівнюють:

$$m_A = \pm\sqrt{\frac{6}{n}} = \pm\sqrt{\frac{6}{67}} = \pm 0{,}3;$$
$$m_E = \pm 2m_A = \pm 0{,}6. \tag{3.4}$$

Співвідношення показників асиметрії та ексцесу до їх помилок дорівнює:

$$\frac{A}{m_A} = \frac{-0{,}05}{0{,}3} = -0{,}16 \le 3;$$
$$\frac{A}{m_E} = \frac{-0{,}33}{0{,}6} = -0{,}55 \le 3. \tag{3.5}$$

Експериментальна крива, яка була отримана шляхом поточного розрахунку, має невелику негативну асиметрію та невеликий негативний ексцес. З урахуванням того, що співвідношення показників асиметрії та ексцесу до їх помилок менше трьох, то можна стверджувати, що варіювання границі міцності досліджуваного з'єднання відповідає закону нормального розподілу.

Варіаційний ряд ознаки, яка досліджується, може бути представленим графічно у вигляді кривої розподілу.

Розмах варіювання: $R = x_{\max} - x_{\min} = 3{,}67 - 2{,}96 = 0{,}71.$

Середнє арифметичне значення:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i x_i}{n} = \frac{226{,}52}{67} = 3{,}381 \text{ МПа}. \tag{3.6}$$

Вибіркова дисперсія:

$$D_B = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i (x_i - M)^2}{n-1} = \frac{1{,}685}{66} = 0{,}026. \tag{3.7}$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k} n_i (x_i - M)^2}{n-1}} = \pm\sqrt{D_B} = \pm\sqrt{0{,}026} = \pm 0{,}16. \tag{3.8}$$

Варіаційний коефіцієнт:

$$\nu\% = \pm\frac{100\sigma_B}{M} = \pm\frac{100 \times 0{,}16}{3{,}381} = \pm 4{,}7. \tag{3.9}$$

Середнє абсолютне відхилення:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i [x_i - M]}{n-1} = \pm \frac{4{,}437}{66} = \pm 0{,}067. \quad (3.10)$$

Середня помилка середнього арифметичного значення:

$$\sigma_M = \pm \frac{\sigma_B}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0{,}16}{\sqrt{67}} = \pm 0{,}019. \quad (3.11)$$

Показник точності дорівнює:

$$\xi = \pm \frac{100\sigma_M}{M} = \pm \frac{100 \times 0{,}019}{3{,}381} = \pm 0{,}05. \quad (3.12)$$

Далі були визначені вихідні величини для побудови кривої нормального розподілу. Величини ординат обчислюються за формулою:

$$y = h \times H, \quad (3.13)$$

де: h – числовий коефіцієнт (згідно табл. 13 [101]);

H – найбільша висота кривої нормального розподілу, яка визначається за формулою:

$$H = \frac{0{,}4 \times K \times n}{\sigma_B}; \quad (3.14)$$

де: K – класовий проміжок поточної вибірки; n – число зразків у вибірці, n = 67; σ – середньоквадратичне відхилення, σ_B = 0,16.

Отже:

$$K = \frac{3{,}67 - 2{,}96}{\sqrt{67}} = 0{,}09; \; H = \frac{0{,}4 \times K \times n}{\sigma_B} = \frac{0{,}4 \times 0{,}09 \times 67}{0{,}16} = 15{,}075.$$

Абсциси, які відповідають ординатам нормальної кривої, обчислюються за формулою:

$$x = M \pm d\sigma, \quad (3.15)$$

де: d – коефіцієнт, який виражає абсцису в долях σ.

В таблиці 3.4 приведені розрахункові дані для побудови кривої нормального розподілу.

Таблиця 3.4

± *d* в долях від:	Значення абсцис, МПа		*h*	Значення ординати, *y*
	x_1	x_2		
0,0	3,38	3,38	1,000	15,075
0,5	3,30	3,46	0,883	13,310
1,0	3,22	3,54	0,607	9,150
1,5	3,14	3,62	0,325	4,900
2,0	3,06	3,70	0,135	2,035
2,5	2,98	3,78	0,044	0,660
3,0	2,90	3,86	0,011	0,165

На рис. 3.2 приведений розподіл несучої здатності дослідних зразків (табл. 3.1), які зазначені в Розділі 3.1.1 дисертаційної роботи.

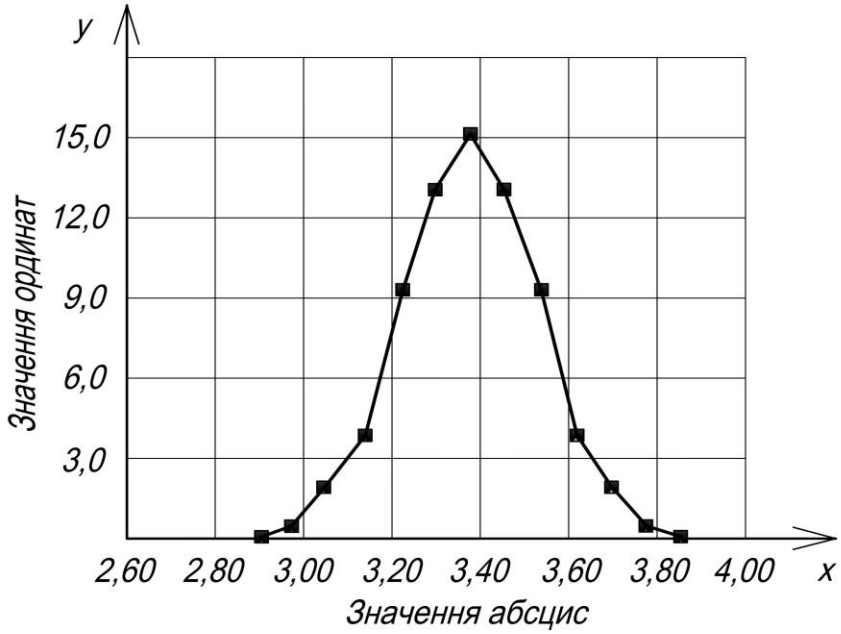


Рис. 3.2. Графік розподілу значень міцності безанкерного клейового сталебетонного з'єднання

Мінімальне значення несучої здатності в досліджуваній вибірці з урахуванням трьох стандартів дорівнює:

$$R_{\min} = M - 3\sigma_{в} = 3{,}381 - 3 \times 0{,}16 = 3{,}31 \text{ МПа}. \quad (3.16)$$

Опір безанкерного клейового сталебетонного з'єднання складає:

$$R_p = R_{\min} \times k_{одн}, \tag{3.17}$$

де: k_o – коефіцієнт однорідності, який знаходимо за формулою:

$$k_{одн} = 1 - 3\nu\% = 1 - 3 \times 0{,}047 = 0{,}86. \tag{3.18}$$

Тоді розрахунковий опір безанкерного клейового сталебетонного з'єднання (3.15) дорівнює:

$$R_p = R_{\min} \times k_{одн} = 3{,}31 \times 0{,}86 = 2{,}85 \text{ МПа}.$$

1) Результати експериментів по визначенню впливу жорсткості сталевих пластин на міцність безанкерних клейових сталебетонних з'єднань наведені в табл. 3.5-3.6. Випробування зразків проводились на розривній машині марки МР-500 (рис. 3.3), при цьому руйнування досліджуваних кріплень незалежно від умовної жорсткості сталевих пластин відбувалося по бетону. Також при проведенні експерименту, для порівняльного аналізу, було випробувано дослідні зразки з використанням самотвердіючих технічних пластмас марки АСТ-Т заводського виготовлення, які використовувались у попередніх наукових роботах [59, 67-74].

Рис. 3.3. Випробування зразків клейових безанкерних з'єднань на розривній машині МР-500 в лабораторії буд. конструкцій ХНУМГ імені О.М. Бекетова

Таблиця 3.5

Результати випробувань на дію центрально-докладених зусиль відриву клейових сталебетонних з'єднань з використанням акрилової пластмаси АСТ-Т в залежності від умовної жорсткості пластин $a \times a$ = 80×80 мм

Умовна жорсткість пластин, Δ	Товщина сталевих пластин, $\delta_{пл}$, мм	Розкид даних міцності, МПа	Середнє значення, МПа
0,060	5	0,51-0,60	0,56
0,100	8	1,02-1,22	1,17
0,125	10	1,76-2,07	1,92
0,150	12	2,41-2,68	2,56
0,188	15	2,64-3,10	2,88
0,225	18	2,97-3,36	3,12
0,250	20	3,01-3,48	3,18

Таблиця 3.6

Результати випробувань на дію центрально-докладених зусиль відриву клейових сталебетонних з'єднань з використанням пропонованих акрилових композицій в залежності від умовної жорсткості пластин $a \times a$ = 80×80 мм

Умовна жорсткість пластин, Δ	Товщина сталевих пластин, $\delta_{пл}$, мм	Розкид даних міцності, МПа	Середнє значення, МПа
0,060	5	1,74-1,91	1,83
0,100	8	2,12-2,30	2,21
0,125	10	2,63-2,79	2,71
0,150	12	2,93-3,19	3,06
0,188	15	3,28-3,54	3,41
0,225	18	3,43-3,71	3,57
0,250	20	3,53-3,91	3,72

За результатами експерименту був побудований графік зміни показників міцності клейового сталебетонного кріплення при дії центрально-докладених зусиль відриву сталевих пластин, які відрізнялись одна від одної за показником умовної жорсткості (рис. 3.4).

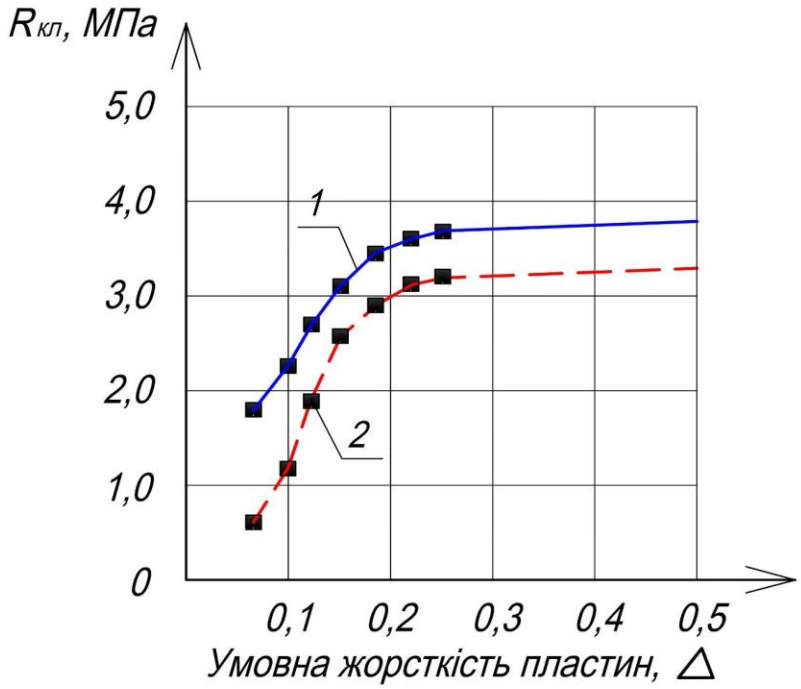


Рис. 3.4. Залежність показників міцності кріплення сталь-клей-бетон від умовної жорсткості сталевих пластин: *1* – з використанням пропонованих акрилових композицій; *2* – з використанням акрилової пластмаси АСТ-Т заводського виготовлення.

Виходячи з табл. 3.5-3.6 та графіка залежності показників міцності кріплення сталь-клей-бетон від умовної жорсткості сталевих пластин при дії центрально-докладених зусиль відриву (рис. 3.4) зроблено наступні висновки. З'єднання з використанням пропонованих акрилових композицій показали більш високі результати міцності на всіх контрольних точках вимірювання (збільшення міцності на відповідних контрольних точках - від 0,6 МПа до 1,3 МПа) ніж стандартні клейові з'єднання з використанням марки АСТ-Т заводського виготовлення.

На величину границі міцності клейового сталебетонного кріплення суттєво впливає збільшення умовної жорсткості (Δ) опорних сталевих пластин (як у випадку використання акрилової пластмаси АСТ-Т заводського виготовлення, так і у випадку використання пропонованих акрилових композицій) [120-122]. Так, при умовній жорсткості пластин Δ = 0,060 границя

міцності кріплення з використанням пропонованих акрилових композицій складає $\sigma_{0міц}$ = 1,83 МПа:

- при умовній жорсткості пластин Δ = 0,100 - $\sigma_{0міц}$ = 2,21 МПа;
- при умовній жорсткості пластин Δ = 0,125 - $\sigma_{0міц}$ = 2,71 МПа;
- при умовній жорсткості пластин Δ = 0,150 - $\sigma_{0міц}$ = 3,06 МПа;
- при умовній жорсткості пластин Δ = 0,188 - $\sigma_{0міц}$ = 3,41 МПа;
- при умовній жорсткості пластин Δ = 0,225 - $\sigma_{0міц}$ = 3,57 МПа.

Так при умовній жорсткості пластин Δ > 0,188 міцність клейового сталебетонного з'єднання стабілізується, а при Δ > 0,225 досягає своєї максимальної величини.

Зростання міцнісних показників клейового сталебетонного з'єднання при збільшенні умовної жорсткості сталевих опорних пластин пояснюється тим, що зі збільшенням умовної жорсткості відбувається вирівнювання епюри напружень розтягу по всій площі склеювання. Очевидно, що при цьому зменшується концентрація напружень в місці докладання навантаження, тобто в центрі пластини, та при умовній жорсткості Δ > 0,225 епюра напружень розтягу під пластиною набуває прямокутного виду. Бетон повністю по всій площі склеювання включається в роботу на розтяг.

Отже, при роботі на дію центрально-докладених зусиль відриву міцність клейових сталебетонних з'єднань функціонально залежить від показників умовної жорсткості сталевих пластин опорного кріплення. Одночасно з цим, збільшення умовної жорсткості (товщини сталевого елементу кріплення), понад певних величин, не призводить до подальшого підвищення показників міцності клейового кріплення.

2) Результати експериментів по визначенню впливу класу бетону на міцність безанкерного клейового сталебетонного з'єднання наведені в табл. 3.7-3.8 та на відповідному графіку (рис. 3.5).

При проведенні експерименту, для порівняльного аналізу, також було випробувано дослідні зразки з використанням самотвердіючих технічних

пластмас марки АСТ-Т заводського виготовлення, яка використовувалась у попередніх наукових роботах [59, 67-74].

Таблиця 3.7

Результати випробувань клейових сталебетонних з'єднань на дію центрально-докладених зусиль відриву в залежності від класу бетону (пропоновані акрилові композиції)

Клас бетону	Міцність бетону на стиск, МПа	Розкид даних міцності, МПа	Середнє значення, МПа	Коефіцієнт однорідності, $k_{одн}$
С8/10	10	2,60-3,56	3,07	0,71
С12/15	15	3,34-4,08	3,71	0,88
С16/20	20	4,24-4,58	4,42	0,91
С20/25	25	4,89-5,25	5,07	0,927
С25/30	30	5,46-5,73	5,59	0,935
С32/40	40	6,09-6,37	6,23	0,942

Таблиця 3.8

Результати випробувань клейових сталебетонних з'єднань на дію центрально-докладених зусиль відриву в залежності від класу бетону (акрилова пластмаса АСТ-Т заводського виготовлення)

Клас бетону	Міцність бетону на стиск, МПа	Розкид даних міцності, МПа	Середнє значення, МПа	Коефіцієнт однорідності, $k_{одн}$
С8/10	10	2,31-3,42	2,62	0,67
С12/15	15	2,84-3,67	3,18	0,85
С16/20	20	3,65-4,08	3,87	0,87
С20/25	25	4,25-4,67	4,48	0,887
С25/30	30	4,68-5,13	4,91	0,912
С32/40	40	5,51-5,92	5,71	0,932

За результатами випробувань, дослідні з'єднання з використанням пропонованих акрилових композицій показали більш високі результати міцності на всіх контрольних точках вимірювання (збільшення міцності на

відповідних контрольних точках - від 0,42 МПа до 0,58 МПа) ніж безанкерні з'єднання з використанням марки АСТ-Т заводського виготовлення.

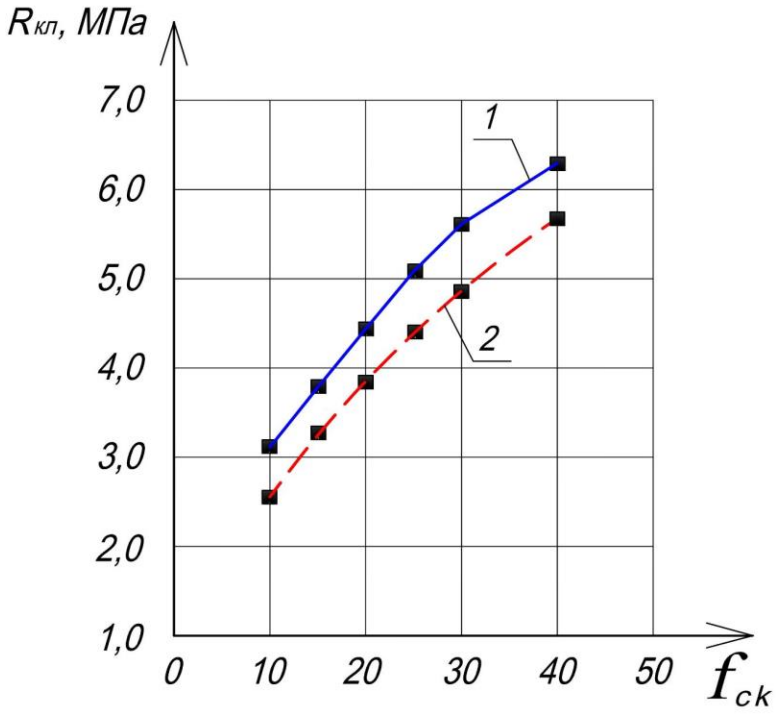


Рис. 3.5. Залежність міцності клейових кріплень від міцності (класу) бетону: *1* – з використанням пропонованих акрилових композицій; *2* – з використанням акрилової пластмаси АСТ-Т заводського виготовлення.

Аналіз цих даних свідчить про те, що міцність кріплення сталь-клей-бетон при дії центрально-докладених зусиль відриву функціонально залежить від міцнісних характеристик бетону на стиск. Тобто, при використанні бетону С8/10 міцність з'єднання дорівнює 3,07 МПа:

- для класу бетону С12/15 - 3,71 МПа;
- для класу бетону С16/20 - 4,42 МПа;
- для класу бетону С20/25 - 5,07 МПа;
- для класу бетону С25/30 - 5,59 МПа;
- для класу бетону С32/40 - 6,23 МПа.

Випробування зразків проводилося на розривній машині марки МР-100, при цьому руйнування дослідних зразків, незалежно від класу використовуваного бетону, відбувалося по суто шару бетону (рис. 3.6).

Рис. 3.6. Характер руйнування клейових кріплень в залежності від класу бетону (зліва направо класи бетону: С12/15, С16/20, С20/25, С25/30).

3) Результати експериментів по визначенню впливу висоти клейового шва на міцність без анкерного клейового сталебетонного з'єднання приведені в таблиці 3.9. Різні величини висоти клейового прошарку створювались за допомогою відповідних металевих опалубок та форм з урахуванням усадки клею в процесі затвердіння.

Таблиця 3.9

Результати випробувань клейових з'єднань сталі з бетоном на дію центрально-докладених зусиль відриву в залежності від висоти клейового шва

Висота клейового шва, мм	Розкид даних міцності, МПа	Середнє значення, МПа	Коефіцієнт однорідності, $k_{одн}$
2	2,87-3,67	3,18	0,85
4	2,91-3,58	3,21	0,87
8	2,84-3,70	3,20	0,84
12	2,94-3,60	3,22	0,87
16	2,91-3,63	3,20	0,86

За результатами експерименту доведено, що висота клейового шва не має істотного впливу на міцність клейового сталебетонного з'єднання. Міцність з'єднання (середнє значення при всіх величинах $\delta_{кл}$ коливається в діапазоні 3,18-3,22 МПа) та коефіцієнт однорідності майже не змінюються зі збільшенням висоти клейового шару.

4) Результати експериментів по визначенню впливу розмірів, геометричної конфігурації та масштабних параметрів на міцність безанкерного клейового сталебетонного з'єднання показали наступне. Міцність клейового кріплення (табл. 3.10) не залежить від геометричної конфігурації сталевих пластин, квадратних або круглих.

Таблиця 3.10

Результати випробувань клейових кріплень на дію центрально-докладених зусиль відриву в залежності від конфігурації сталевих пластин

Конфігурація пластини	Розкид даних міцності, МПа	Середнє значення, МПа	Коефіцієнт однорідності, $k_{одн}$
Кругла, $d_{пл}$ = 100 мм	3,03-3,44	3,21	0,87
Квадратна, $a \times a$ = 80×80 мм	3,01-3,48	3,17	0,85

Руйнування клейових кріплень в усіх випадках відбувалося по бетону. Розкид показників міцності клейового кріплення виявився практично однаковий. На підставі статистичної обробки експериментальних результатів було встановлено, що коефіцієнти однорідності практично ідентичні та становлять для сталевих пластин квадратної форми $k_{одн}$ = 0,85, а для пластин круглої форми $k_{одн}$ = 0,87.

Результати експериментів по визначенню впливу розмірів сталевих пластин та масштабних параметрів, а також їх умовної жорсткості наведені в таблицях 3.11 і 3.12. В рамках даного експерименту, руйнування дослідних зразків відбувалося по суто шару бетону

Таблиця 3.11

Результати випробувань клейових кріплень на дію центрально-докладених зусиль відриву в залежності від площі пластин при однаковій умовній жорсткості Δ = 0,25

Розмір пластин, $a \times a$, мм	Площа пластини $F_{пл}$, см^2	Розкид даних міцності з'єднання, МПа	Середнє значення міцності, МПа	Коефіцієнт однорідності, $k_{одн}$
80×80	64,0	3,72-4,32	3,97	0,93
100×100	100,0	3,42-3,95	3,65	0,86
120×120	144,0	3,31-3,86	3,48	0,78
150×150 з ребрами жорсткості	225,0	2,76-3,26	3,00	0,67
200×200 з ребрами жорсткості	400,0	2,24-2,88	2,56	0,62

Аналіз експериментальних даних таблиці 3.11 демонструє, що зі збільшенням розміру сталевих пластин в плані, та їх площі відповідно, міцність клейового сталебетонного з'єднання знижується. Одночасно знижується і коефіцієнт однорідності клейового шва. Таким чином, при використанні в структурі кріплення опорних сталевих пластин площею $F_{пл}$ = 64 см^2 міцність даного кріплення відповідно дорівнює $R_{кл}$ = 3,97 МПа, при $F_{пл}$ = 100 см^2 – 3,65 МПа, при $F_{пл}$ = 144 см^2 – 3,48 МПа, при $F_{пл}$ = 225 см^2 – 3,00 МПа, при $F_{пл}$ = 400 см^2 – 3,00 МПа. Відповідно, коефіцієнти однорідності мали значення 0,93; 0,86; 0,78; 0,67 та 0,62.

Крім того аналіз таблиці 3.11 показує, що значне збільшення площі опорних сталевих пластин від 64 см^2 до 400 см^2 не призводить до істотного зростання несучої здатності досліджуваного з'єднання

Таблиця 3.12

Результати випробувань клейових кріплень на дію центрально-докладених зусиль відриву в залежності від площі пластин та їх різної умовної жорсткості

Умовна жорсткість сталевих пластин, Δ	Розкид даних міцності, МПа	Середнє значення міцності, МПа	Коефіцієнт однорідності, $k_{одн}$
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a$ = 80×80 мм			
0,06	1,67-2,05	1,82	0,89
0,10	2,08-2,49	2,32	0,90
0,125	2,41-3,14	2,78	0,85
0,15	3,04-3,62	3,36	0,83
0,188	3,63-4,01	3,84	0,87
0,225	3,68-4,23	3,93	0,91
0,25	3,72-4,32	3,97	0,93
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a$ = 100×100 мм			
0,06	1,41-1,71	1,56	0,83
0,10	1,83-2,38	2,12	0,86
0,125	2,32-2,77	2,48	0,84
0,15	2,79-3,24	3,02	0,84
0,188	3,08-3,77	3,43	0,82
0,225	3,38-3,94	3,59	0,87
0,25	3,42-3,95	3,65	0,86
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a$ = 120×120 мм			
0,06	1,01-1,48	1,24	0,73
0,10	1,68-2,01	1,84	0,75
0,125	1,79-2,51	2,16	0,76
0,15	2,10-3,06	2,59	0,77
0,188	2,68-3,54	3,06	0,76
0,225	3,21-3,57	3,41	0,75
0,25	3,31-3,86	3,48	0,78
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a$ = 150×150 мм			
0,06	0,91-1,18	1,04	0,63
0,10	1,44-1,78	1,62	0,66
0,125	1,76-2,15	1,94	0,68
0,15	2,08-2,62	2,34	0,67
0,188	2,31-3,06	2,72	0,69
0,225	2,73-3,18	2,96	0,68
0,25	2,76-3,32	3,03	0,67

За даними таблиці 3.12 був побудований графік зміни міцності клейового кріплення при дії центрально-докладених зусиль відриву опорних сталевих пластин різної площі та умовної жорсткості (рис. 3.7).

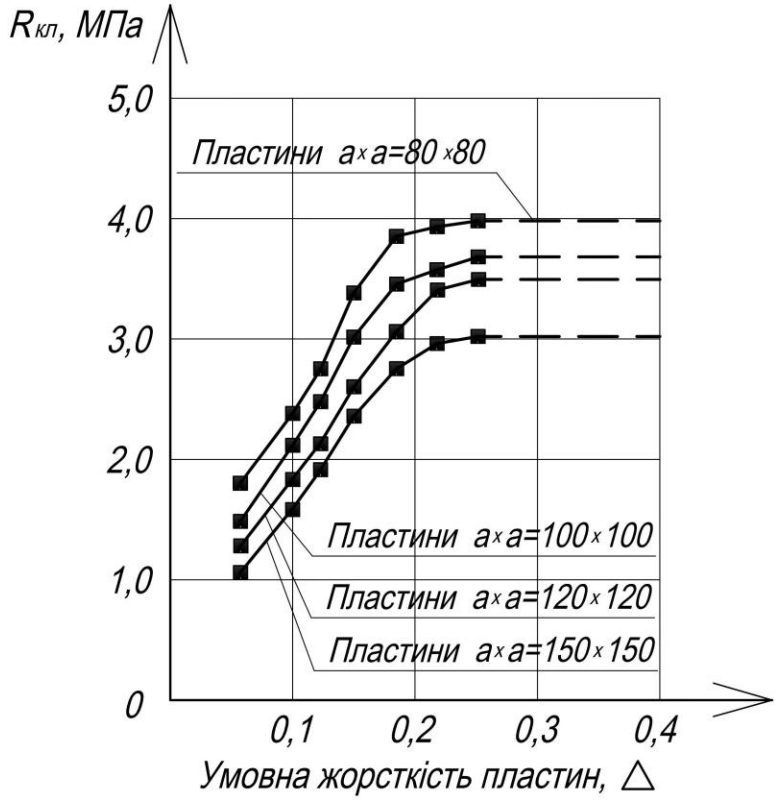


Рис. 3.7 Залежність міцності клейових кріплень від площі використовуваних пластин та їх умовної жорсткості

Згідно з даними таблиці 3.12 і відповідного графіка (рис. 3.7) був зроблений висновок, що на міцність клейових кріплень на акрилових модифікованих клеях суттєво впливає зміна площі та умовної жорсткості опорних пластин.

Наведені експериментальні результати підтверджують, що на міцність клейового кріплення та на його однорідність суттєво впливає масштабний параметр. Дане явище пояснюється неоднорідною структурою бетону.

5) Експерименти по визначенню впливу відстані кріплення сталевих елементів від грані бетонної конструкції на міцність з'єднання сталь-клей-бетон приведені в таблиці 3.13. Руйнування зразків клейових з'єднань, незалежно від відстані кріплення від грані конструкції, відбувалося по бетону.

Таблиця 3.13

Результати випробувань з’єднань сталь-клей-бетон на дію центрально-докладених зусиль відриву в залежності від відстані кріплення пластин від грані бетонного виробу

$\frac{b}{a}$	$\frac{F_б}{F_{пр}}$	Розкид даних міцності клейового сталебетонного з’єднання, МПа	Середнє значення міцності, МПа
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a$ = 60×60 мм			
1,16	1,36	1,47-1,79	1,62
1,50	2,25	1,86-2,16	2,01
1,67	2,78	2,13-2,38	2,26
2,00	4,00	2,57-2,83	2,72
2,50	6,25	3,13-3,59	3,36
3,00	9,00	3,55-3,92	3,76
3,33	11,11	3,66-4,08	3,91
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a$ = 80×80 мм			
1,13	1,27	1,33-1,68	1,52
1,25	1,56	1,47-1,91	1,69
1,50	2,25	1,86-2,04	1,95
1,88	3,52	2,33-2,67	2,50
2,25	5,06	2,72-3,25	2,98
2,50	6,25	3,03-3,50	3,27
3,13	9,77	3,54-4,02	3,78
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a$ = 100×100 мм			
1,00	1,00	1,05-1,29	1,17
1,20	1,44	1,21-1,42	1,31
1,50	2,25	1,68-1,85	1,78
1,80	3,24	1,95-2,37	2,16
2,00	4,00	2,36-2,81	2,58
2,50	6,25	2,94-3,42	3,19
3,00	9,00	3,42-3,95	3,65
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a$ = 120×120 мм			
1,00	1,00	0,51-0,65	0,58
1,25	1,56	0,95-1,09	1,03
1,50	2,25	1,33-1,49	1,41
1,67	2,78	1,46-1,74	1,64
2,08	4,34	2,21-2,67	2,47
2,50	6,25	2,91-3,43	3,12
2,92	8,51	3,08-3,69	3,39

На підставі результатів поточних випробувань клейових сталебетонних з’єднань був також побудований графік залежності міцності клейового сталебетонного з’єднання від відстані кріплення сталевих елементів від грані конструкції (рис. 3.8).

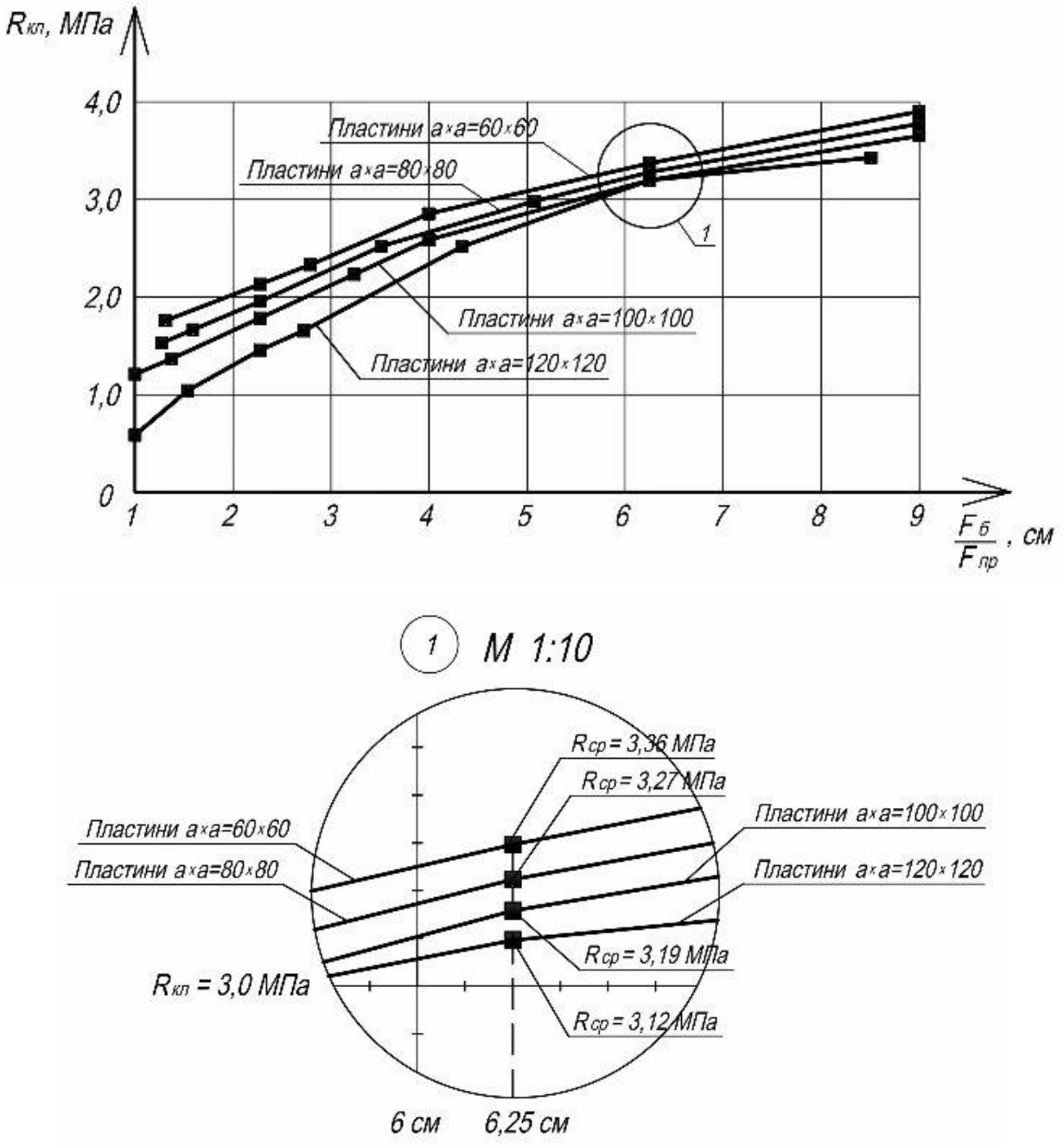


Рис. 3.8. Залежність міцності клейових кріплень від відстані кріплення сталевих пластин від грані будівельної конструкції

Аналіз цих даних свідчить про те, що міцність клейових кріплень зростає по мірі віддалення приклейки сталевого опорного елементу від грані бетонного зразка. Міцність клейових кріплень кріпильного вузла стабілізується при $\frac{F_б}{F_{пр}} \geq 6$.

Так, при $\frac{F_б}{F_{пр}} \approx 1$ міцність дослідних з'єднань складає відповідно:

- $F_{пл}$ = 36 см^2 – 1,62 МПа;
- $F_{пл}$ = 64 см^2 – 1,52 МПа;
- $F_{пл}$ = 100 см^2 – 1,21 МПа;
- $F_{пл}$ = 144 см^2 – 0,58 МПа.

При $\frac{F_б}{F_{пр}} \approx 2$:

- $F_{пл}$ = 36 см^2 – 2,26 МПа;
- $F_{пл}$ = 64 см^2 – 2,05 МПа;
- $F_{пл}$ = 100 см^2 – 1,78 МПа;
- $F_{пл}$ = 144 см^2 – 1,18 МПа.

При $\frac{F_б}{F_{пр}} \geq 6$:

- $F_{пл}$ = 36 см^2 – 3,91 МПа;
- $F_{пл}$ = 64 см^2 – 3,78 МПа;
- $F_{пл}$ = 100 см^2 – 3,65 МПа;
- $F_{пл}$ = 144 см^2 – 3,22 МПа.

Значення показників міцності клейового кріплення, які відрізняються один від одного при різних величинах $F_{пл}$, пояснюються масштабним параметром та неоднорідною структурою бетону [120-124].

6) Експерименти з визначення впливу способів очищення бетонної поверхні під склеювання на міцність клейового сталебетонного з'єднання на акрилових модифікованих клеях демонструють наступне. Руйнування клейових

кріплень відбувалося когезійно, тобто по бетону, при всіх випробуваннях зразків (рис. 3.1).

Результати випробувань були статистично оброблені та представлені у вигляді діаграми зміни середніх значень міцності, а також коефіцієнтів однорідності та варіації клейових кріплень під впливом різних способів очищення бетонної поверхні конструкцій (рис. 3.8).

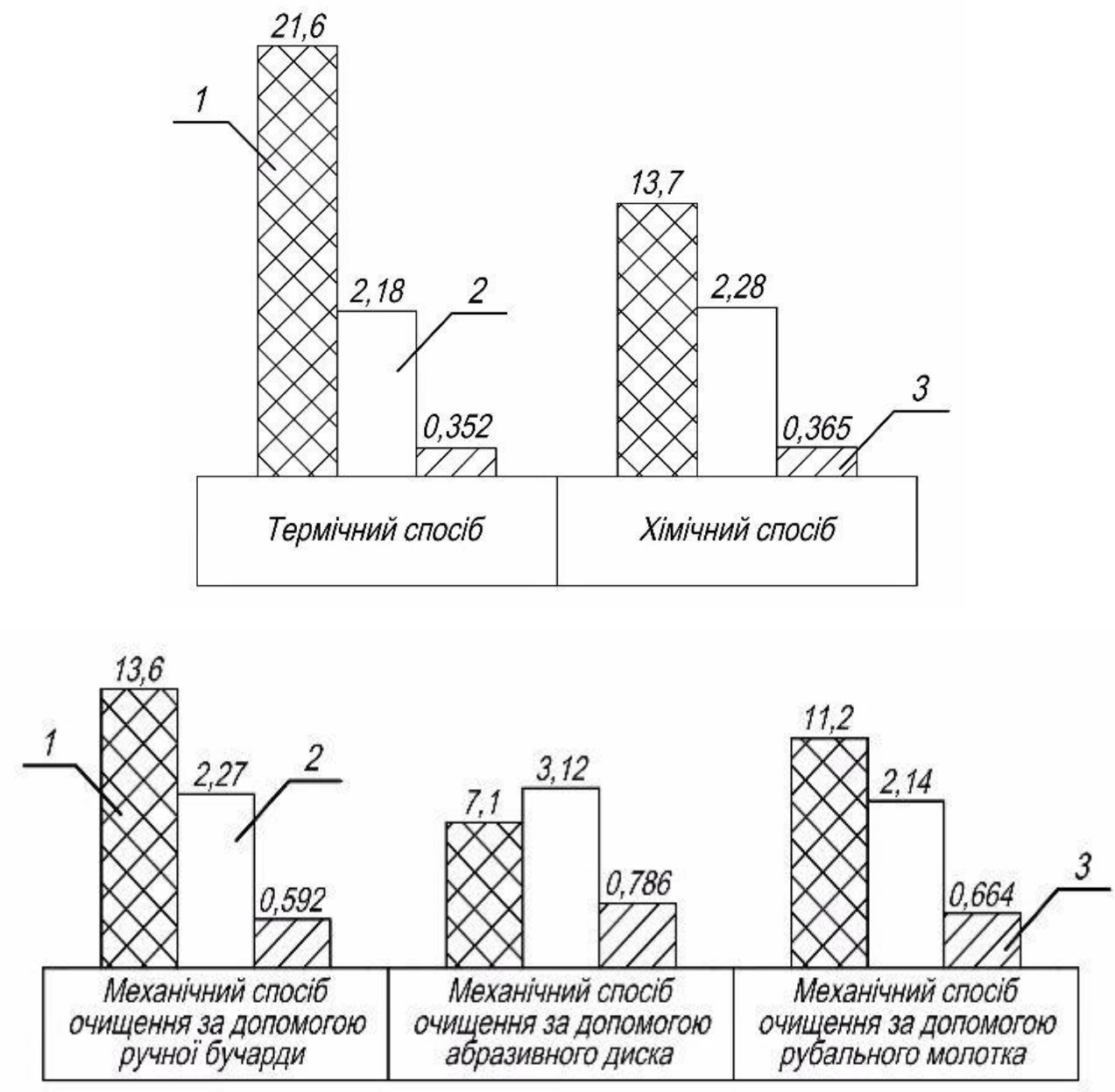


Рис. 3.8. Діаграма зміни показників міцності, коефіцієнтів варіації та однорідності клейових з'єднань в залежності від способу очищення бетонної поверхні конструкції: *1* – коефіцієнт варіації, %; *2* – середнє значення міцності, МПа; *3* – коефіцієнт однорідності.

Показання даної діаграми дозволяють судити про найбільш доцільний спосіб очищення бетонної поверхні конструкцій в залежності від характеристик міцності клейових з'єднань на акрилових модифікованих клеях та показників статистичної обробки експериментальних результатів.

Виходячи з діаграми, хімічний, термічний, механічний за допомогою ручної бучарди та механічний за допомогою рубального молотка способи очищення бетонної поверхні характеризуються достатньо наближеними значеннями міцності клейових з'єднань (діапазон 2,14-2,28 МПа), які, в свою чергу, приблизно на 30% менше ніж при механічному очищенні за допомогою абразивного диска.

Відносне зниження міцності з'єднань при хімічному, термічному та ручному способах очищення, а також при використанні рубального молотка, в порівнянні з очищенням абразивним диском, можна пояснити наступним чином.

При хімічному способі очищення, після промивання водою ділянок бетону, які було попередньо оброблені кислотою, не відбувається повного видалення поверхнево плівки, що призводить до деякого зниження міцності клейового кріплення.

При використанні термічного способу очищення поверхнева плівка не видаляється внаслідок того, що вона спікається та не піддається відокремленню від основного масиву бетону. Це призводить до зниження міцності з'єднання.

Про низьку якість хімічної і термічної обробки поверхні бетону свідчить також великий розкид показань міцності та, отже, низькі значення коефіцієнтів однорідності клейових кріплень.

При очищенні поверхні бетону вручну і за допомогою рубального молотка відносно низькі показники міцності були отримані за рахунок появи мікротріщин в поверхневому шарі бетону внаслідок ударних впливів на нього. Однак така обробка призводить до більш високої однорідності і надійності роботи клейового кріплення, ніж хімічна і термічна.

Найбільш високі показники міцності клейових кріплень отримані при механічному способі очищення бетонної поверхні конструкції за допомогою абразивного диска. У цьому випадку відбувається цілковите видалення поверхневого шару без кардинального порушення самої цілісності бетону, про що свідчать високі показники міцності і однорідності даних з'єднань. При цьому розкид досліджуваних значень межі міцності характеризується відносно низьким коефіцієнтом варіації 7,1%.

Таким чином, виконані експериментальні дослідження доводять, що міцність клейового з’єднання бетону зі сталлю, з використанням акрилових модифікованих композицій, ґрунтовно залежить від технологічного способу попереднього очищення бетонної поверхні конструкцій [125].

7) Результати експериментів по визначенню впливу сторони бетонування на міцність безанкерного клейового сталебетонного з’єднання на акрилових модифікованих клеях приведені в таблиці 3.14. Аналіз цих даних свідчить про те, що міцність з’єднань сталь-клей-бетон у випадку приклейки на низ бетонування конструкції сталевих пластин приблизно на 55-60% вище, ніж у випадку приклейки на верх бетонування конструкції. Так, для пластин площею $F_{пл}$ = 36 см^2 збільшення міцності складає 58,3%, для $F_{пл}$ = 64 см^2 – 61,5%, для $F_{пл}$ = 100 см^2 – 57,5%, для $F_{пл}$ = 144 см^2 – 61,%. Одночасно спостерігається збільшення коефіцієнту однорідності на 20,8%, 22,4%, 22,6% та 27,8% відповідно.

Таблиця 3.14

Результати випробувань клейових з’єднань на дію центрально-докладених зусиль відриву у випадку приклейки сталевих пластин на протилежні сторони бетонування залізобетонної конструкції

Найменування параметру	Розкид даних міцності, МПа	Середнє значення, МПа	Коефіцієнт однорідності
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a$ = 60 х 60 мм			
Верх бетонування:	2,44-3,05	2,75	0,72
Низ бетонування:	4,17-4,53	4,35	0,87
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a$ = 80 х 80 мм			
Верх бетонування:	2,04-2,74	2,39	0,67
Низ бетонування:	3,51-4,20	3,86	0,82
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a$ = 100 х 100 мм			
Верх бетонування:	1,88-2,43	2,16	0,62
Низ бетонування:	2,97-3,83	3,40	0,76
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a$ = 120 х 120 мм			
Верх бетонування:	1,47-2,12	1,78	0,54
Низ бетонування:	2,49-3,24	2,87	0,69

Отримані результати пояснюються наступними явищами. Насамперед, більш легкі частки цементу, а також глинисті та мулисті частки, які знаходяться в заповнювачах, в процесі ущільнення бетонної суміші спливають на поверхню. Через те, поверхневий шар за своїм механічним і хімічним складом відрізняється від решти маси бетону.

За даними [43], кількість глинозему та заліза в розчині, що виступає на поверхню ущільненого шару, в 6 разів більше ніж в нормальному розчині, а солей сірчаної кислоти больше в 1,75 рази. Виконаний хімічний аналіз цементного молока, зібраного з поверхні бетону при його ущільненні, свідчить про те, що воно містить значно більше гідратованих алюмінатів та феритів, а також сірчанокислих з’єднань і лугів. Крім того, поверхневий шар бетону

піддається карбонізації внаслідок поглинання вуглекислого газу (CO_2) з повітря.

Також, при ущільнені бетону крупні заповнювачі (гравій, щебінь) осідають у нижній частині конструкції, створюючи в даній зоні щільну структуру.

3.1.2. Міцність з'єднання при дії позацентрово-докладених зусиль

Експериментальні дослідження показали наступне. Руйнування досліджуваних зразків безанкерних клейових сталебетонних кріплень при всіх величинах ексцентриситету *e* відбувалося когезійно, тобто по бетону. Результати статистичної обробки експериментальних результатів випробувань наведені в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15

Значення руйнуючих зусиль клейових сталебетонних з'єднань при впливі на зразки вузлів кріплення позацентрово-докладених зусиль

Розмір пластини зразка вузла кріплення, мм	Величина ексцентриситету		
	$e = 0$	$e = 0{,}25a$	$e = 0{,}4a$
	Значення руйнуючого зусилля, кН	Значення руйнуючого зусилля, кН	Значення руйнуючого зусилля, кН
Умовна жорсткість сталевих пластин $\Delta = 0{,}125$			
80×80	32,40	18,90	12,90
100×100	67,08	36,80	25,80
120×120	84,80	49,80	33,80
Умовна жорсткість сталевих пластин $\Delta = 0{,}250$			
80×80	26,20	14,70	9,65
100×100	46,20	25,60	16,90
120×120	68,60	37,50	26,90
150×150	87,20	52,20	35,95
200×200	93,95	65,20	48,90

На підставі статистичної обробки експериментальних результатів із застосуванням кореляційних методів розроблені графіки залежності величини руйнуючих зусиль (надалі $P_{руйн}$) від ексцентриситету позацентрово-докладеного зусилля відриву (рис. 3.9).

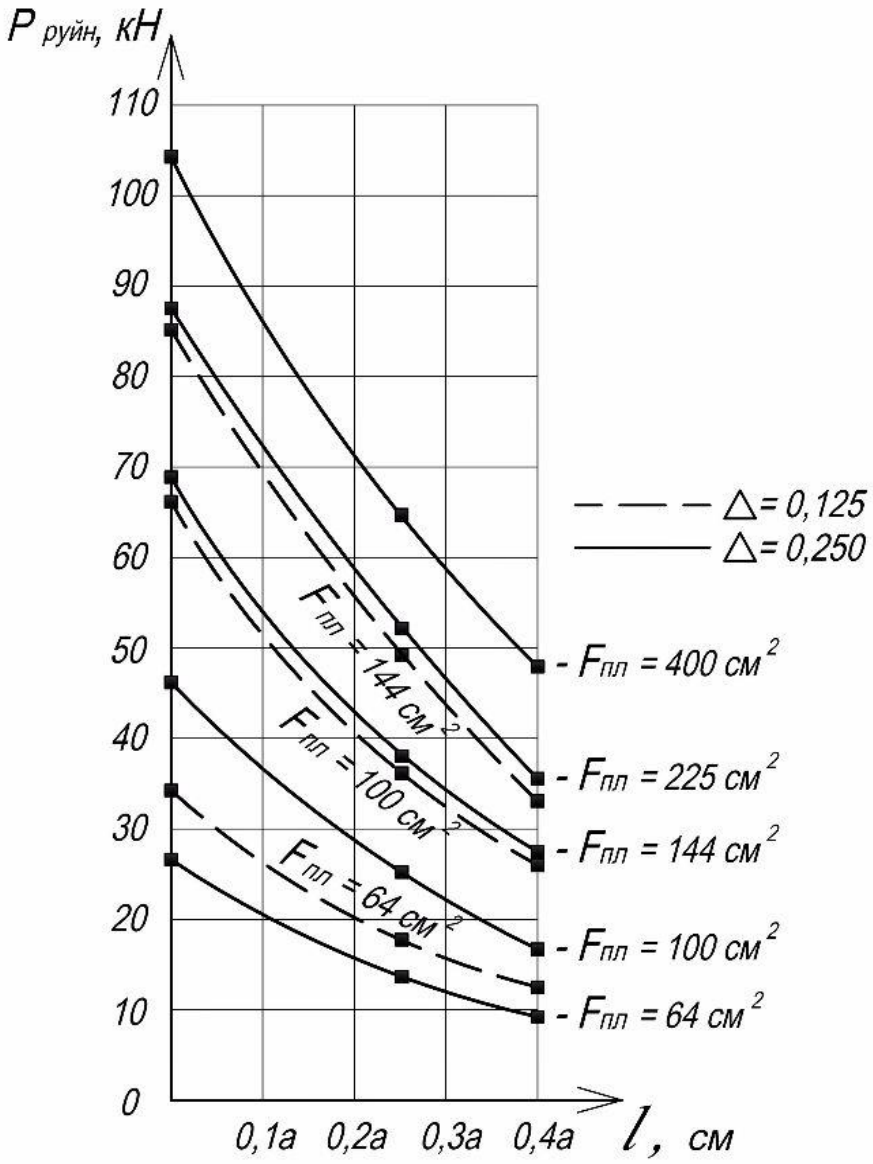


Рис. 3.9. Залежність $P_{руйн}$ від ексцентриситету позацентрово-докладеного зусилля відриву

Аналіз отриманих експериментальних даних свідчить про те, що зі збільшенням ексцентриситету докладання зусилля відриву несуча здатність клейових сталебетонних з'єднань на акрилових модифікованих композиціях зменшується. Значення $P_{руйн}$ при ексцентриситеті e = 0,25a зменшується майже

в 2 рази, а при величині ексцентриситету $e = 0{,}4a$ в порівнянні з центрально-докладеним зусиллям відриву – майже в 2,5-2,7 рази. Так, серія зразків клейових кріплень із опорними сталевими пластинами розміром $a \times a = 100 \times 100$ мм та умовною жорсткістю $\Delta = 0{,}125$ при величині ексцентриситету $e = 0$ руйнувалися при значенні $P_{руйн.сер.} = 66{,}27$ кН, при величині ексцентриситету $e = 0{,}25a$ - $P_{руйн.сер.} = 36{,}85$ кН та при величині ексцентриситету $e = 0{,}4a$ - $P_{руйн.сер.} = 26{,}91$ кН.

3.1.3. Міцність з'єднання при сумісній дії зусиль відриву та зсуву

Експериментальні дослідження по визначенню міцності клейових сталебетонних з'єднань на акрилових модифікованих композиціях при сумісній дії зусиль відриву та зсуву показали наступне. Руйнування досліджуваних кріплень при поточному випробуванні відбувалося когезійно, тобто по бетону. Результати статистичної обробки експериментальних результатів випробувань наведені в таблиці 3.16.

Таблиця 3.16

Значення $P_{руйн}$ для клейових кріплень при впливі на вузол кріплення сумісних зусиль відриву та зсуву

Статистичні показники	Кут докладання руйнуючого зусилля				
	0°	30°	45°	60°	90°
Пластини розміром в плані $a \times a = 150 \times 150$ мм (перша партія)					
Значення руйнуючих зусиль, кН	20,80	23,15	26,65	30,11	42,10
Пластини розміром в плані $a \times b = 150 \times 200$ мм (друга партія)					
Значення руйнуючих зусиль, кН	23,50	26,10	28,65	34,45	48,70
Пластини розміром в плані $b \times a = 200 \times 150$ мм (третя партія)					
Значення руйнуючих зусиль, кН	25,70	29,75	33,50	39,20	56,10

На підставі статистичної обробки експериментальних результатів із застосуванням кореляційних методів розроблені графіки залежності величини $P_{руйн}$ від кута докладання навантажень (рис. 3.10).

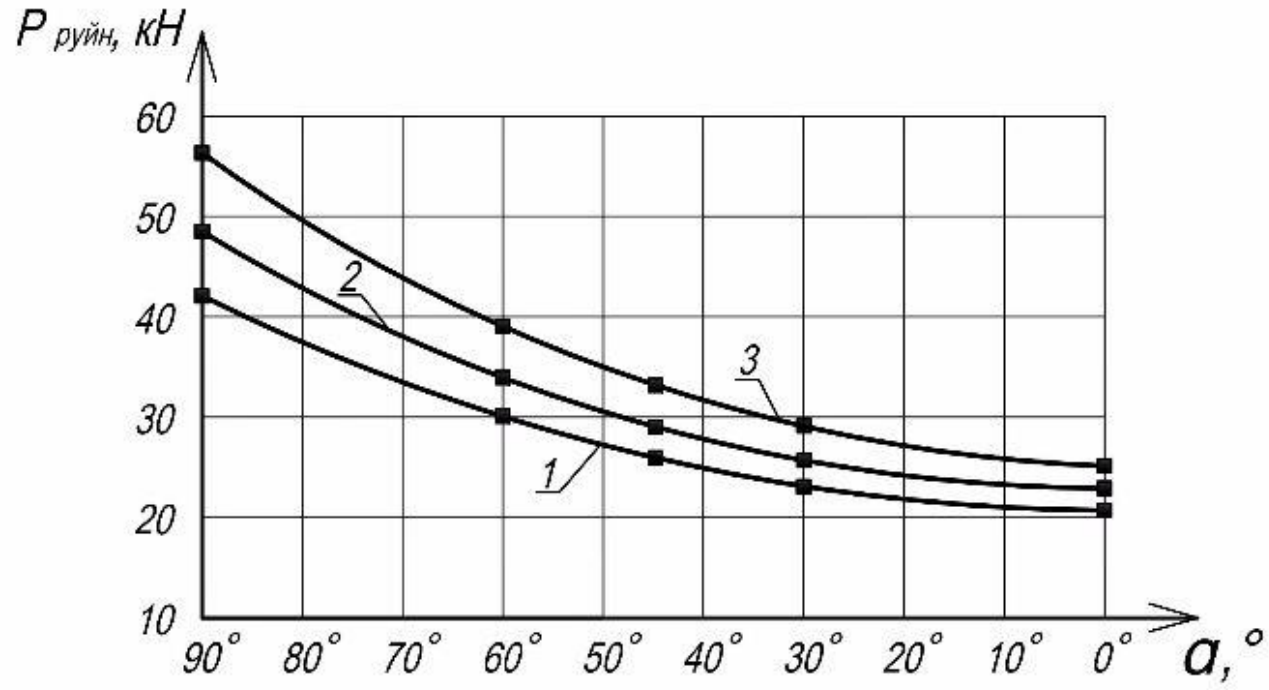


Рис. 3.10. Залежність $P_{руйн}$ від кута докладання навантажень: *1* – для пластин розміром $a \times a = 150 \times 150$ мм; *2* - для пластин розміром $a \times b = 150 \times 200$ мм; *3* - для пластин розміром $b \times a = 200 \times 150$ мм.

Дослідження сумісної дії зусиль відриву та зсуву на експериментальні зразки демонструє наступне. Підвищення величини кута докладання навантажень до клейового вузла кріплення пропорційно зростанню величини руйнуючих зусиль, наприклад, за умови $\alpha = 90°$ (чистий зсув) вони зростають на 2,1-2,7 разів вище ніж за умови $\alpha = 0°$ (центрально-докладене зусилля відриву). Так, для клейових сталебетонних кріплень із розміром опорної сталевої пластини $a \times a = 200 \times 150$ мм за умови $\alpha = 0°$ $P_{руйн.}$ становить 25,70 кН, а за умови $\alpha = 90°$ - $P_{руйн.}$ дорівнює 56,10 кН. Величини $P_{руйн}$ для клейових кріплень із пластинами прямокутної форми при дії зусиль уздовж довшої сторони пластини (третя дослідна партія зразків) трохи вище ніж при дії зусиль

уздовж коротшої (друга партія дослідних зразків). У випадку чистого зсуву (величина кута $\alpha = 90°$) поточне перевищення досягає приблизно 16-17%.

Треба зауважити, що в даній постановці задачі при умовному розділі загального руйнуючого зусилля на компоненти, а саме на центрально-докладений відрив ($P_{відр}$) та зсув ($P_{зсв}$), виявляється, що воно перевищує величини $P_{руйн}$ центрально-докладеного відриву ($\alpha = 0°$), але менше величин $P_{руйн}$ чистого зсуву ($\alpha = 90°$).

3.1.4. Міцність з'єднання при сумісній дії згинального моменту та зусиль зсуву

Експериментальні дослідження показали наступне. Руйнування досліджуваних зразків при всіх величинах ексцентриситету e відбувалося когезійно, тобто по бетону. Результати статистичної обробки експериментальних даних наведені в таблиці 3.17.

Таблиця 3.17

Значення $P_{руйн}$ при впливі на вузол кріплення згинального моменту та зусилля зсуву

Показник	Величина ексцентриситету		
	$e = 0$	$e = 0{,}5a$	$e = a$
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a = 100 \times 100$ мм			
Значення руйнуючих зусиль, кН	50,90	10,15	3,90
Сталеві пластини розміром в плані $a \times a = 150 \times 150$ мм			
Значення руйнуючих зусиль, кН	101,90	21,20	9,45

На підставі статистичної обробки експериментальних результатів із застосуванням кореляційних методів розроблені графіки залежності величини $P_{руйн}$ від ексцентриситету докладання навантажень (рис. 3.11).

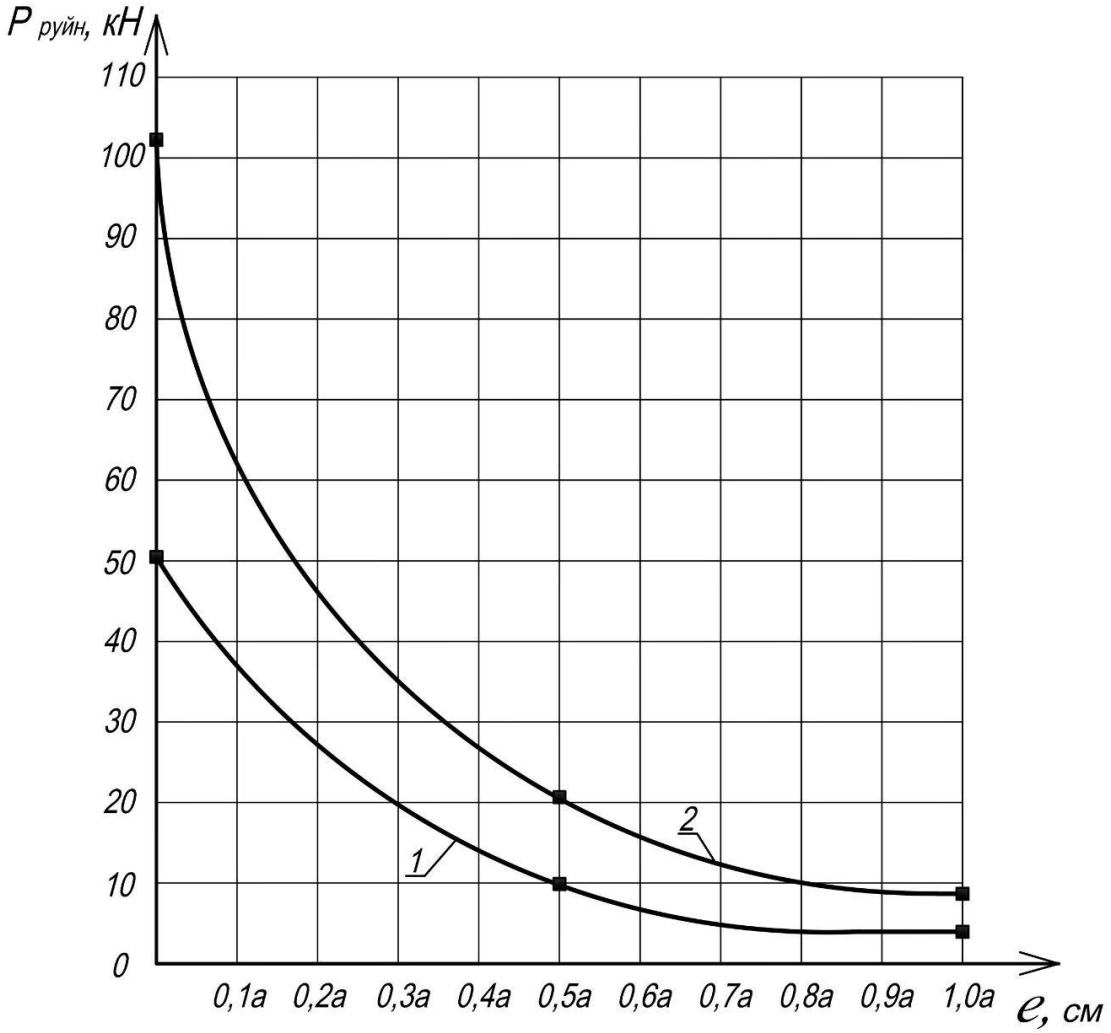


Рис. 3.11. Залежність $P_{руйн}$ від ексцентриситету докладання навантажень:

1 – для пластин розміром $a \times a$ = 100×100 мм;

2 - для пластин розміром $a \times a$ = 150×150 мм.

Випробування зразків клейових кріплень на сумісну дію згинального моменту та зусиль зсуву демонструють, що при підвищенні величини ексцентриситету докладання зусиль зсуву величина $P_{руйн}$ зменшується. При докладанні навантажень до зразків клейових вузлів кріплення із ексцентриситетом, який становить e = 0,5a величина $P_{руйн}$ знижується в 5 раз.

Разом з тим, якщо ексцентриситет дорівнює довжині сталевої пластини ($e = a$), у порівнянні із зусиллям зсуву (при $e = 0$), $P_{руйн}$ знижується майже в 11 раз. У випадку зсуву ($e = 0$) для опорних сталевих пластин розміром $a \times a = 100 \times 100$ мм $P_{руйн.}$ складає 50,90 кН, у випадку якщо $e = 0{,}5a$ – $P_{руйн.}$ = 10,15 кН, у випадку якщо $e = a$ – $P_{руйн.}$ = 3,90 кН. Для пластин розміром $a \times a = 150 \times 150$ мм при заданих величинах ексцентриситету $P_{руйн}$ відповідно складає 101,90 кН, 21,10 кН та 9,45 кН.

3.1.5. Міцність з'єднання при сумісній дії крутного моменту та зусиль зсуву

Експериментальні дослідження показали наступне. При всіх величинах плеча докладання сил зсуву l руйнування досліджуваних зразків відбувалося когезійно, тобто по бетону. Результати статистичної обробки експериментальних даних наведені в таблиці 3.18.

Таблиця 3.18

Значення $P_{руйн}$ для клейових кріплень при сумісній дії крутного моменту та зусиль зсуву

Довжина плеча докладання зусилля зсуву	Значення руйнуючих зусиль, кН
Сталеві опорні пластини розміром в плані $a \times a = 80 \times 80$ мм	
$l = 0$	52,30
$l = 0{,}5a = 4{,}5$ см	37,90
$l = a = 8{,}0$ см	23,30
Сталеві опорні пластини розміром в плані $a \times a = 100 \times 100$ мм	
$l = 0$	64,30
$l = a = 10$ см	35,20
$l = 2a = 20$ см	18,30
$l = 3a = 30$ см	9,40

На підставі статистичної обробки експериментальних результатів із застосуванням кореляційних методів розроблені графіки залежності величини $P_{руйн}$ від довжини плеча докладання навантаження (рис. 3.12).

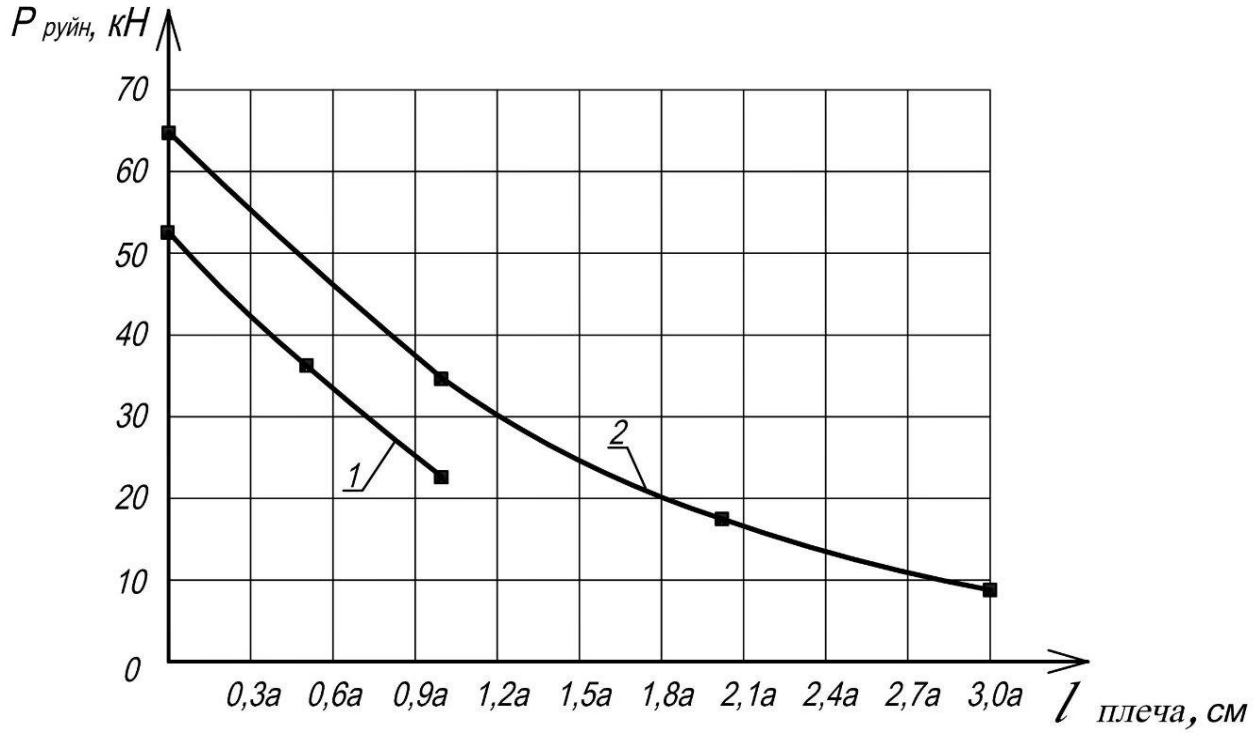


Рис. 3.12. Залежність $P_{руйн}$ від довжини плеча докладання сил зсуву:

1 – для пластин розміром $a \times a$ = 80×80 мм;

2 - для пластин розміром $a \times a$ = 100×100 мм.

Дослідження сумісної дії крутного моменту та зусиль відриву на клейове кріплення показує, що при підвищенні розмірів плеча докладання зусиль зсуву величина $P_{руйн}$ зменшується. Докладання навантаження з величиною плеча $l = a$ призводить до зменшення $P_{руйн}$ в порівнянні із випадком чистого зсуву (l = 0) майже в 1,8 рази, при $l = 2a$ – в 3,4 рази, а при $l = 3a$ – майже в 7 раз. В разі докладання зусилля зсуву до сталевих пластин розміром $a \times a$ = 100×100 мм з плечем величиною l = 0 - $P_{руйн.}$ дорівнює 64,30 кН, при $l = a$ - $P_{руйн.}$ = 35,20 кН, при $l = 2a$ - $P_{руйн.}$ = 18,30 кН та при $l = 3a$ - $P_{руйн.}$ = 9,40 кН. У той же час для пластин розміром $a \times a$ = 80×80 мм ці умови мали значення при l = 0 - $P_{руйн.}$ = 52,30 кН, а при $l = a$ - $P_{руйн.}$ = 23,30 кН.

3.2. Визначення витривалості клейових сталебетонних з'єднань при багаторазово повторюваних навантаженнях

Як було вказано у Розділі 1 даного дисертаційного дослідження, у зв'язку зі створенням безанкерного способу кріплення сталевих елементів технологічного устаткування за допомогою приклейки акриловими модифікованими композиціями вузлів кріплення до фундаментів, залізобетонних плит перекриття/покриття та інших конструктивних елементів, виникла необхідність перевірки клейового сталебетонного з'єднання на витривалість у випадку багаторазових динамічних навантажень. Так як при кріпленні обладнання зазначеним способом висота клейового прошарку може змінюватися в широких межах, то також виникає необхідність одночасно дослідити вплив висоти клейового шва на так звану втомну міцність клейового сталебетонного з'єднання.

Наведені у Розділі 3.1 результати експериментальних досліджень статичної міцності клейових сталебетонних з'єднань на акрилових модифікованих клеях при різних видах навантажень (відрив, зсув тощо) з використанням в експериментах зразків певних класів бетону показали, що міцність даного типу з'єднань ототожнюється з міцностними характеристиками бетону. Тому цілком можливе припущення, що втомна міцність клейового сталебетонного з'єднання на акрилових модифікованих клеях також може залежати від границі витривалості бетону, що застосовується у даному з'єднанні. Крім того, дослідження Бергена Р.І. [126, 127], Красуліна Н.Н. [128], Козлова П.М. [92], Мікульського В.Г. [129], Ужакова К.М. [130] із визначення втомної міцності з'єднань бетонів з епоксидним клеями показали, що вона визначається саме міцністю використовуваного бетону.

Згідно із ДБН [131, 132] в разі розрахунку залізобетонних конструкцій на витривалість відповідні розрахункові опори бетону обчислюються з

урахуванням коефіцієнта ε_b, який залежить від характеристики циклу напружень в бетоні $\rho_b = \frac{\sigma_{b,\min}}{\sigma_{b,\max}}$ або коефіцієнту асиметрії циклу.

Даним експериментом передбачалося встановити можливість використання коефіцієнта ε_b і в разі розрахунку клейового сталебетонного з'єднання на витривалість. Тому при проведенні експериментального дослідження втомна міцність без анкерного клейового сталебетонного з'єднання приймалася ідентичною до міцності бетону при багаторазово повторюваних навантаженнях, що розраховуються на витривалість, і відповідно з ДБН [131, 132] вона визначалася за формулою:

$$\sigma_z = k_{одн} \times \varepsilon_b \times R_{кл}, \tag{3.19}$$

де: σ_z – межа витривалості експериментальних зразків клейового з'єднання;

ε_b – коефіцієнт для визначення розрахункового опору бетону при розрахунку на витривалість, який дорівнює 1,025; 1,10 та 1,175 (згідно із табл. 3.9 [132]) відповідно при поточних значеннях ρ_b = 0,15; 0,30 та 0,45, що були прийняті в експерименті;

$k_{одн}$ – коефіцієнт однорідності клейового з'єднання за даними випробувань на статичну міцність;

$R_{кл}$ – границя міцності зразків клейового з'єднання при центрально-докладеному зусиллі відриву.

Також визначався вплив висоти клейового шва на витривалість досліджуваного з'єднання. В рамках поточного експерименту висота клейового шва $\delta_{кл}$ приймалася від 2 до 10 мм. Такі величини $\delta_{кл}$ найбільш характерні для закріплення технологічного обладнання за допомогою поверхневого приклеювання їх опорних частин та кріпильних вузлів до фундаментів або інших будівельних конструкцій.

Для проведення дослідження були виготовлено три партії експериментальних зразків. Кожна партія складалася з чотирьох серій, кожна з яких мала по шість зразків клейового сталебетонного з'єднання. Зразок клейового з'єднання включав сталеві пластини розміром 80×80×12 мм, які були

наклеєні на протилежні сторони бетонного куба (рис. 3.13). Бетонні куби виготовлялись розміром 200×200×200 мм із бетону класу С16/20. Висота клейового шва в першій партії зразків складала 2 мм, у другій партії – 6 мм, у третій партії – 10 мм. Для утворення з'єднання приймалися рекомендовані автором акрилові композиції модифікованого складу [84, 86].

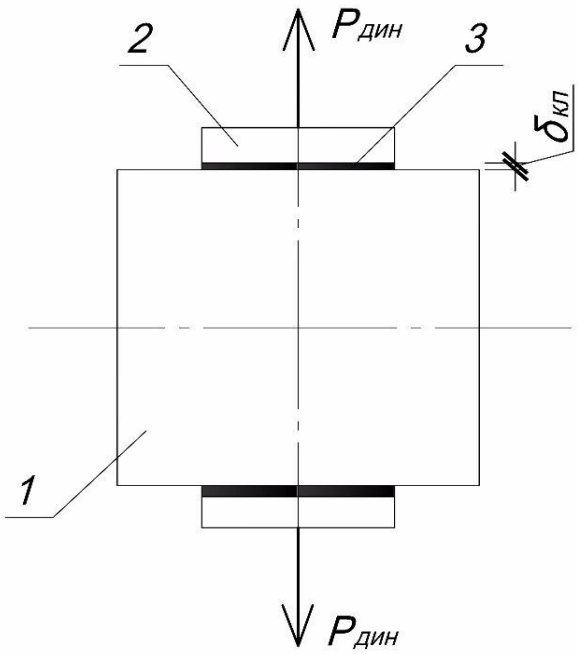


Рис. 3.13. Схема випробування дослідних зразків на багаторазове динамічне навантаження центрально-докладеним зусиллям відриву:
1 – бетонний зразок (куб); *2* – сталева пластина; *3* – шар акрилового клею.

Перші серії зразків кожної партії були використані для визначення статичної міцності з'єднань при впливі дії центрально-докладених зусиль відриву. При обробці результатів випробувань використовувалися стандартні статистичні методи, які застосовуються при дослідженні міцності бетону [133].

Результати статистичної обробки результатів наведені в таблиці 3.19. Руйнування дослідних зразків в усіх партіях відбувалося по бетону.

Решта інших серій були піддані багаторазовим динамічним навантаженням. Друга серія кожної партії випробувалась при ρ_b = 0,15; третя – при ρ_b = 0,30; четверта - при ρ_b = 0,45.

Зразки клейових кріплень, які були підготовлені під випробування на багаторазове динамічне навантаження, приведені на рис. 3.14.

Рис. 3.14. Дослідні зразки на багаторазове динамічне навантаження.

Випробування зразків безанкерного клейового сталебетонного з'єднання проводилися на розривній машині марки ЦДМ 10-ПУ. Число циклів навантаження в хвилину – 1000. Така частота навантажень були прийнята з урахуванням динамічних характеристик обладнання, яке рекомендується до закріплення за допомогою поверхневого приклеювання. Крім того, враховувалися дані попередніх наукових досліджень [134-136] де було експериментально доведено, що при 200-1000 циклах навантажень в хвилину швидкість навантаження не впливає на межу витривалості бетону.

Величини максимальних навантажень циклу P_{max} згідно (3.19) дорівнювали 1,9 тс (16,67 кН); 1,85 тс (18,14 кН) та 2,0 тс (19,61 кН) відповідно

при ρ_b рівному 0,15; 0,30 та 0,45. Величини мінімальних навантажень P_{min} відповідно дорівнювали 0,26 тс (2,54 кН); 0,55 тс (5,39 кН) та 0,9 тс (8,82 кН).

Після 2×10^6 циклів навантаження руйнування дослідних зразків не відбулося. Після випробувань клейових зразків на витривалість при всіх прийнятих значеннях циклу напружень ρ_b вони були зруйновані статичним навантаженням з метою визначення межі міцності. Руйнування відбувалося по бетону (рис. 3.15).

Рис. 3.15. Характер руйнування зразків клейових з'єднань після випробувань на багаторазове динамічне навантаження рівномірним відривом

Результати поточних випробувань наведені в табл. 3.19.

Таблиця 3.19

Результати випробувань клейових зразків на витривалість при багаторазово повторюваних навантаженнях

Статичні показники	Статична міцність клейового з'єднання, МПа	Залишкова міцність клейового з'єднання, МПа, після 2×10^6 циклів навантаження при значеннях ρ_b		
		ρ_b = 0,15	ρ_b = 0,30	ρ_b = 0,45
При висоті клейового шва $\delta_{кл}$ = 2 мм				
Середнє значення	3,07	2,89	2,93	2,95
Зниження міцності	-	На 5,9%	На 4,6%	На 3,9%
При висоті клейового шва $\delta_{кл}$ = 6 мм				
Середнє значення	3,04	2,82	2,87	2,89
Зниження міцності	-	На 7,2%	На 5,6%	На 4,9%
При висоті клейового шва $\delta_{кл}$ = 10 мм				
Середнє значення	3,03	2,78	2,82	2,86
Зниження міцності	-	На 8,2%	На 6,9%	На 5,6%

Аналіз результатів показує, що статична міцність зразків, які пройшли випробування на витривалість, або так звана залишкова міцність [136, 137], при всіх прийнятих в експерименті значеннях товщини клейового шару виявилась нижче ніж статична міцність зразків, що була отримана за стандартною методикою (результати випробувань зразків перших серій) [138, 139]. Характерно, що величина залишкової міцності залежить від коефіцієнта асиметрії циклу ρ_b. При збільшенні значення ρ_b залишкова міцність клейових зразків наближається до статичної міцності.

Отримані результати цілком узгоджуються із результатами випробувань зразків бетону на витривалість [128, 135, 137, 140].

3.3. Визначення характеристик міцності клейового шва вертикального з'єднання сталі з бетоном

Питання приклеювання конструктивних елементів до вертикальних поверхонь залізобетонних будівельних конструкцій (стін, колон, панелей) в теперішній час є дуже актуальним та вимагає всебічного розгляду.

Вертикальне клейове улаштування кріпильних вузлів має суттєві відмінності від традиційного горизонтального склеювання. Під час планування вертикального склеювання елементів необхідно враховувати цілий перелік конструктивно-технологічних факторів, зокрема: забезпечення незмінності проектного положення самої конструкції та/або вузлів кріплення; власну вагу кріпильного вузла та власну вагу промислових комунікацій, яку, впродовж запроектованого терміну служби, здатний безаварійно утримувати обраний адгезив; температура середовища, у якому експлуатується клеєна конструкція; площа склеювання; безпосередньо міцність клейового з'єднання тощо.

Проектування навантаження на вертикальний клейовий вузол кріплення має задовольняти наступній залежності:

$$R_{кл.верт.} \geq (P_{кр.вл} + P_{ком}) \times k_{безп}, \quad (3.15)$$

де: $R_{кл.верт}$ – розрахункова міцність клейового безанкерного з'єднання, при улаштуванні кріпильних вузлів на вертикальних поверхнях;

$P_{кр.вл}$ – власна вага вузла кріплення, кг;

$P_{ком}$ – власна вага інженерних комунікацій або промислового обладнання, що обпираються безпосередньо на кріпильний вузол, кг;

$k_{безп}$ – коефіцієнт безпеки для другої групи клеєних конструкцій, який приймається рівним $k_{безп}$ = 1,2 [141].

Експерименти по визначенню навантаження (ваги), яку витримує клейове сталебетонне з'єднання на акрилових модифікованих композиціях, проводились на вертикальних поверхнях будівельних конструкцій за схемою, яка наведена на рис. 3.16.

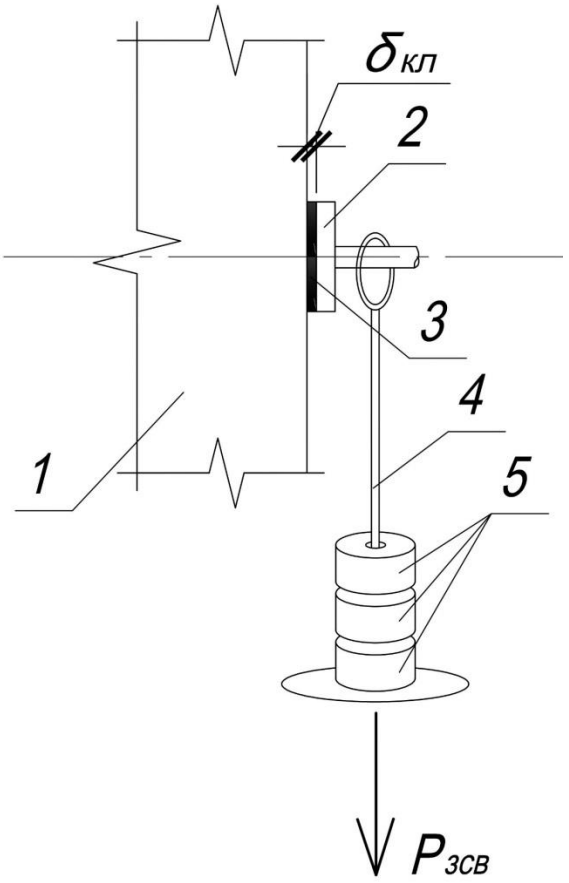


Рис. 3.16. Схема випробування клейових зразків по визначенню допустимого проектного навантаження, діючого на вертикальний вузол кріплення:
1 – бетонна основа; *2* – сталева пластина; *3* – шар акрилового клею; *4* – штатив; *5* – лабораторні гирі.

У поточній постановці задачі, дотичні напруження дорівнюють:

$$\tau = \frac{P_{зсв}}{A}, \tag{3.20}$$

де: $P_{зсв}$ – зусилля зсуву, Н; A – площа перерізу, м^2.

Для розрахунку нормальних напружень побудуємо розрахункову схему в момент часу безпосереднього відриву.

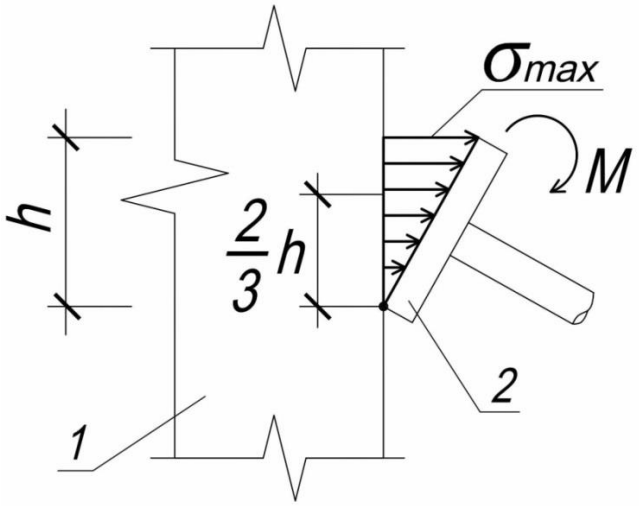


Рис. 3.17. Розрахункова схема дії нормальних напружень: *1* – бетонна основа; *2* – сталева пластина.

Сумарні напруження повинні дорівнювати моменту відриву, при цьому:

$$M = P \times l; \tag{3.21}$$

Площа трикутника (рис. 3.17), по якій діють напруження дорівнює $\frac{1}{2} h \times \sigma_{\max}$, тоді:

$$M = b \times (\frac{1}{2} h \times \sigma_{\max} \times \frac{2}{3} h), \tag{3.22}$$

де: σ_{max} – максимальні напруження, Па; b – довжина клейового прошарку (сталевої пластини), м; h – висота клейового прошарку (сталевої пластини), м; $\frac{2}{3} h$ – центр ваги трикутника від вершини трикутника.

Внутрішній момент, який утворює напруження, прирівнюється до зовнішнього моменту, який утворює навантаження.

Вводимо еквівалентне напруження:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}, \text{Па}. \tag{3.23}$$

Вираз (3.23) цілком відповідає висновкам (2.41) Розділу 2.3.

Слід зауважити, що дотичні напруження підсумовуються за вагою, нормальні – підсумовуються за моментами.

В даних експериментах використовувався акриловий модифікований клей, покращений склад якого був розроблений за участю автора [84, 86], який рекомендується для безанкерного з'єднання будівельних конструкцій.

Для надійного закріплення до вертикальної поверхні акриловий компаунд в процесі приготування доводився до форполімерного стану, коли даний адгезив досягає допустимої технологічної в'язкості, та саме у такому вигляді наносився на бетонну/залізобетонну поверхню будівельної конструкції. При цьому експериментально доведено, що для закріплення кріпильних вузлів при вертикальному розташуванні достатньо зафіксувати сталеві елементи, що склеюються, у незмінному початковому положенні 2-4 хвилини (в залежності від температурних умов середовища, класу та ступеню очищення поверхні бетону). В умовах знижених температур, коли процес полімеризації клею може сповільнюватися і займати більше часу ніж при нормальних робочих умовах, пластини розігріваються до температури 80-90°С для кращого зчеплення сталі з адгезивом. Також, додатковою перевагою вертикальної приклейки конструкцій саме даними акриловими модифікованими композиціями є наступний фактор – під час склеювання акриловий клей не розтікається вниз по поверхні за рахунок досягнення гелеобразного стану клейової композиції, що відповідає ступеню полімеризації 65-70%.

Лабораторне моделювання вертикальних клейових вузлів кріплення проводилось наступним чином. До залізобетонної будівельної конструкції методом вертикальної фіксації приклеювались сталеві пластини розміром в плані $a \times a$ = 80×80 мм, товщиною $\delta_{пл}$ = 8 мм (умовна жорсткість сталевих пластин складала $\Delta = \delta_{пл} / a$ = 0,10). Висота клейового шва приймалась $\delta_{кл}$ = 3-4 мм. До сталевих пластин ручним дуговим напівавтоматичним методом були приварені болти (або відповідно обрізані арматурні стрижні), для подальшого закріплення лабораторного штативу з гирями, з метою моделювання клейового кріпильного вузла із певною величиною діючого на нього навантаження.

Вага сталевої пластини з привареним болтом - 0,4 кг. Вага лабораторного штативу 0,4 кг. Допоміжні гирі підбиралися вагою 0,5; 2,0; 4,2 та 7,5 кг

відповідно.

Для перевірки навантаження, яке витримує клейовий шар акрилового модифікованого клею в структурі клейового сталебетонного з'єднання, експеримент був розділений на наступні етапи.

1) З метою початкового визначення критичної ваги, яку здатний безаварійно утримувати клейовий шар в структурі кріпильного вузла, до залізобетонних вертикальних поверхонь одночасно приклеювалися 3 однакові сталеві пластини із власною вагою 0,4 кг кожна.

Далі, на клейові кріпильні вузли спочатку докладалося мінімальне навантаження 1,8 кг. Далі вузли поступово кожну годину докладалося по 2 кг додаткового навантаження. Тобто, за шість годин сумарне навантаження, яке діє на кріпильний вузол, збільшилося з 1,8 кг до 13,8 кг (збільшення сумарної ваги в 7,67 разів). При цьому, в процесі поступового збільшення сумарної ваги кріпильного вузла, за даний проміжок часу жодних деформацій клейового прошарку не було зафіксовано (рис. 3.18).

Рис. 3.18. Докладання навантаження на клейовий кріпильний вузол для визначення допустимої ваги, діючої на клейовий шов: *а* – початкова вага 1,8 кг; *б* – сумарна вага 5,8 кг; *в* – сумарна вага 8,8 кг; *г* – сумарна вага 13,8 кг.

З метою визначення можливих деформацій (тріщин, часткового або повного руйнування) клейового прошарку кріпильного вузла спостереження за даними конструкціями, із діючою сумарною вагою в 13,8 кг, велося протягом тридцяти діб. За даний проміжок часу деформації клейового прошарку не були зафіксовані.

Це, в свою чергу, свідчить про те, що адгезійні (міцностні) властивості даного акрилового компаунду конструктивно задовольняють вимогам для вертикального улаштування промислових клейових кріпильних вузлів.

2) Наступним кроком, було прийнято рішення збільшити сумарну вагу, діючу на кріпильні вузли. До вертикальних залізобетонних поверхонь були наклеєні нові 4 сталеві пластини, отже:

- на перший кріпильний вузол поступово докладалося навантаження, яке в лабораторних умовах сумарно дорівнювало 15,8 кг;

- на другий кріпильний вузол докладалося збільшене навантаження, яке в лабораторних умовах сумарно дорівнювало 19,8 кг;

- на третій кріпильний вузол докладалося збільшене навантаження, яке в лабораторних умовах сумарно дорівнювало 26,4 кг (рис. 3.19, а);

- на четвертий кріпильний вузол докладалося збільшене навантаження, яке в лабораторних умовах сумарно дорівнювало 30,4 кг;

- на п’ятий кріпильний вузол докладалося максимальне навантаження, яке в лабораторних умовах сумарно дорівнювало 34,4 кг (рис. 3.19, б).

Рис. 3.19. Визначення критичної ваги кріпильного вузла при короткочасній дії зусиль навантаження: *а* – сумарна вага 26,4 кг; *б* – сумарна вага 34,4 кг.

Після докладання навантаження на вузли, для побудови графіків залежності деформативності клейового шва від дії короткочасних зусиль навантаження, до привареного болта була закріплена туго натягнута струна, яка внизу була з’єднана із індикатором часового типу марки ИЧ50. Слід зауважити, що дані випробування проводились в лабораторних умовах, наближених до

нормальних умов експлуатації. Температура повітря 19°С, відносна вологість середовища 45%.

Через певні відрізки часу після приклеювання були зроблені контрольні заміри даних кріпильних вузлів, який виявив наступні прояви зміщень (повзучості, Δ) сталевих пластин (рис. 3.20).

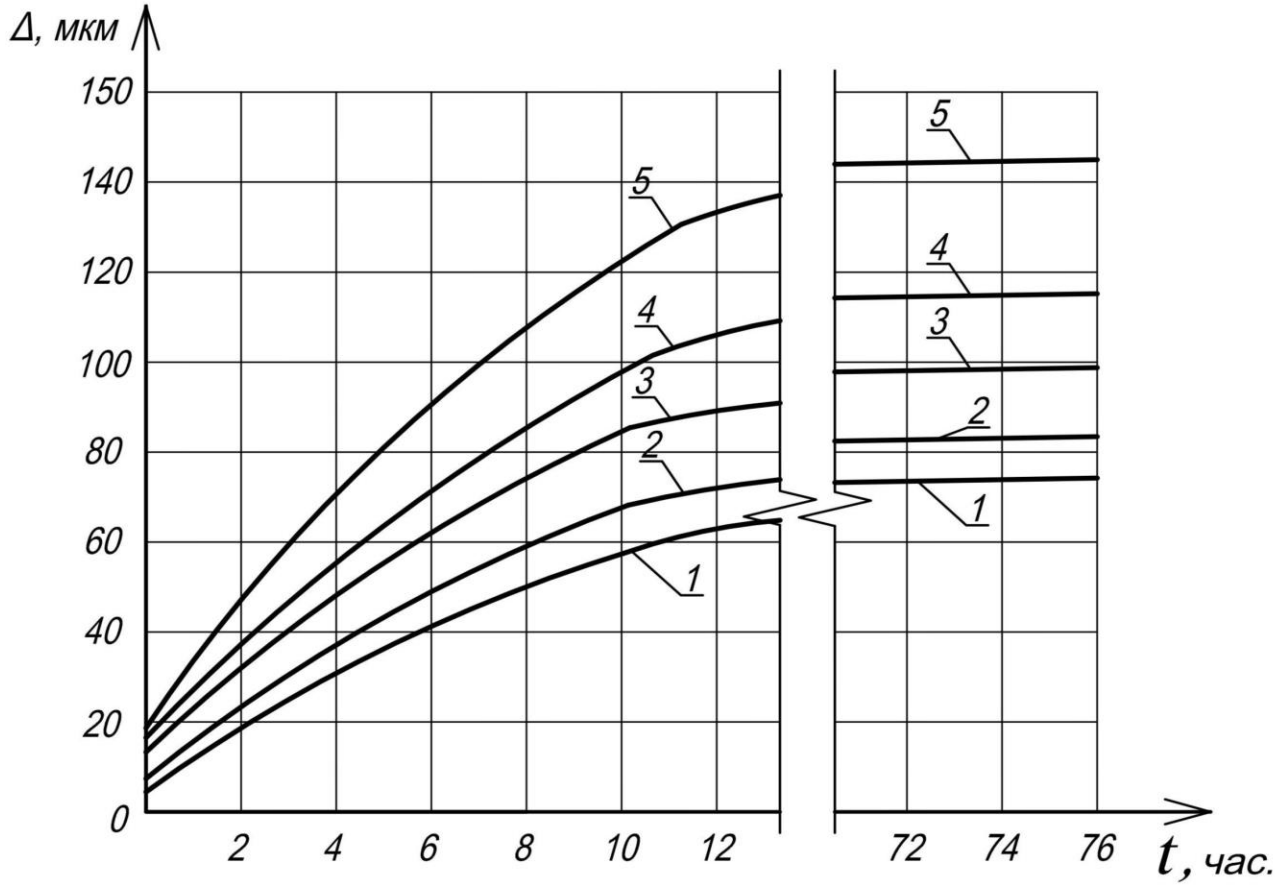


Рис. 3.20. Залежність деформативності клейового шва безанкерного з'єднання від дії короткочасних зусиль навантаження, в лаб. умовах: *1* – сумарна вага 13,8 кг; *2* – сумарна вага 17,8 кг; *3* – сумарна вага 26,4 кг; *4* – сумарна вага 30,4 кг; *5* - сумарна вага 34,4 кг.

Результати даних випробувань свідчать про те, що в межах прийнятої короткочасної дії навантаження, повзучість клейового шару має загасаючий характер і стабілізується протягом 10-11 годин після безпосередньої приклейки до бетонної поверхні конструкцій [142].

Всі досліджувані зразки клейових з'єднань (№ 1-5; рис. 3.20) показали

задовільну ступінь зчеплення з бетоном і здатність витримувати короткочасну дію певного навантаження, що в свою чергу, свідчить про те, що адгезійні (міцностні) властивості даного акрилового компаунду конструктивно задовольняють вимогам для вертикального улаштування промислових клейових кріпильних вузлів. Зміщення сталевих пластин, із певною заданою вагою, почали стабілізуватися через 10 годин після приклеювання (площа приклейки 64 см^2).

3) Наступним етапом, було дослідне випробування клейових вузлів при короткочасній дії навантаження в реальних умовах виробництва.

При ремонтних роботах у складських приміщеннях підприємства ТОВ “Будівельник” (м. Харків) були спочатку приклеєні 10 одиниць рожкових кронштейнів. Кріпильні вузли виконувались у вигляді рожкових кронштейнів із розміром пластин $a \times a$ = 25×12 см (площа приклейки 300 см). Довжина рожка 7 см. Власна вага кріпильного вузла 1,7 кг.

Роботи проводились у неопалювальних приміщеннях при температурі повітря 6-7°С і відносній вологості середовища 56%.

Одразу після приклейки на перші 5 клейових кріпильних вузлів докладалося навантаження у вигляді сталевого трубопроводу довжиною 6,4 м, із зовнішнім діаметром $d_з$ = 60,0 мм і товщиною стінки s = 4,0 мм. Маса одного погонного метру дорівнює 6,16 кг. Загальна маса трубопроводу 39,43 кг. Орієнтовна зосереджена сила, яка діє на один клейовий шар кріпильного вузла, буде дорівнювати ≈ 9 кг (рис. 3.21).

На інші 5 клейових вузлів докладалося навантаження у вигляді стандартної електрокабельної розводки марки ВВГ 4×35. Маса одного погонного метру 1,6 кг. Орієнтовна зосереджена сила, яка діє на один клейовий шар кріпильного вузла, буде дорівнювати ≈ 3,1 кг.

Для побудови графіків залежності деформативності клейового шва від дії короткочасних зусиль навантаження в реальних умовах виробництва, до кожного кріпильного вузла були закріплені туго натягнуті струни, які внизу були з’єднані із індикаторами часового типу марки ИЧ50 (рис. 3.22).

Рис. 3.21. Визначення деформативності клейового шва від дії короткочасних зусиль навантаження сталевого трубопроводу в реальних умовах виробництва

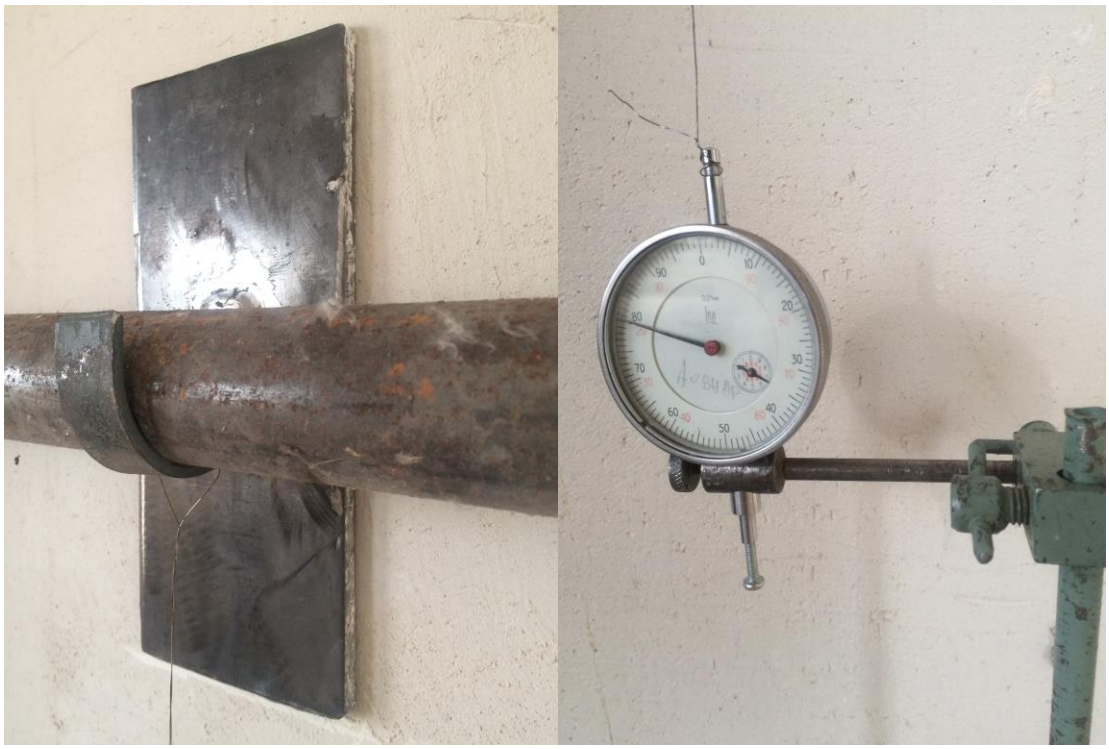


Рис. 3.22. Клейовий вертикальний кріпильний вузол, який під'єднаний натягнутими струнами із індикатором часового типу марки ИЧ50

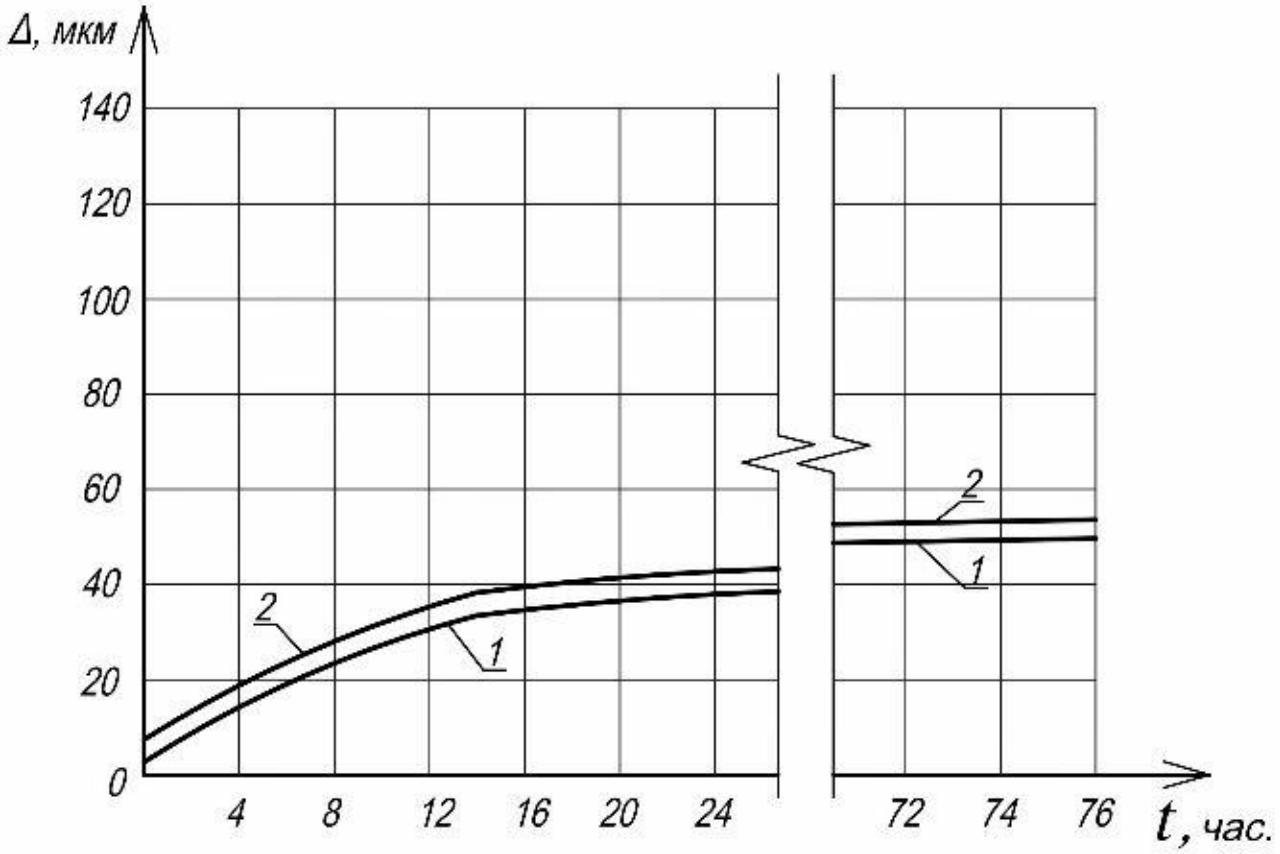


Рис. 3.23. Залежність деформативності клейового шва безанкерного з'єднання від дії короткочасних зусиль навантаження, в реальних умовах виробництва:

1 – від електрокабельної розводки; *2* – від сталевого трубопроводу.

Через певні відрізки часу після приклеювання були зроблені контрольні заміри даних кріпильних вузлів, який виявив наступні прояви зміщень (повзучості, Δ) сталевих пластин (рис. 3.23) в реальних умовах виробництва.

Результати даних випробувань свідчать про те, що в межах прийнятої короткочасної дії навантаження, повзучість клейового шару має загасаючий характер та, при знижених умовах середовища, стабілізується протягом 13-14 годин після безпосередньої приклейки.

Отже, згідно із результатами поточних експериментів можна зробити наступні висновки. Рекомендований акриловий модифікований клей [84, 86] здатний надійно утримувати сумарну вагу кріпильного вузла та технологічних комунікацій при дії короткочасних зусиль навантаження при склеюванні елементів на вертикальних поверхнях залізобетонних будівельних конструкцій.

В нормальних умовах навколишнього середовища повзучість клейового шару має загасаючий характер та стабілізується протягом 10-11 годин. При знижених умовах навколишнього середовища повзучість клейового шару має загасаючий характер та стабілізується протягом 14 годин.

На підставі даних рекомендацій, при проектуванні вертикальних клеєних з’єднань, необхідно враховувати наступне. Найбільш розповсюджені вертикально розташовані конструкції кріплення – це водогазопровідні трубопроводи та силові лінії електропостачання. При цьому, в більшості випадків, власна вага трубопроводу (без урахування ваги опорних кріпильних вузлів) буде значно більше ніж, наприклад, вага електрокабельної розводки. Отже, при розрахунку вертикальних клейових з’єднань саме сталеві трубопроводи будуть прийматися як найважчі конструктивні елементи. Маса одного погонного метру сталевих трубопроводів буде коливатися в залежності від марки сталі, зовнішнього діаметру та товщини стінки.

Слід зауважити, що маса, наприклад, чавунних труб більше ніж сталевих, але чавунні вироби не використовуються при проектуванні надземних інженерних мереж та комунікацій.

Труби водогазопровідні застосовуються у будівництві при прокладенні комунікацій, при проведенні водопроводів, газопроводів, для монтажу систем опалювання і виконання деталей трубопроводів, в зовнішніх мережах питного водопостачання.

Ситуаційний розрахунок. Необхідно розрахувати кількість безанкерних клейових кріплень (кріпильних вузлів) під опору трубопроводу при проектуванні водопровідної системи у прохідному колекторі.

1) Водогазопровідні труби виготовляються із вуглецевих сталей згідно із ДСТУ 2561:2005 (ГОСТ 380). Основними технічними характеристиками, що визначають загальний розмір трубопроводу є: зовнішній діаметр, товщина внутрішньої стінки труби, діаметр умовного проходу, довжина трубопроводу, тиск в системі. Згідно із ДСТУ 2561:2005 (ГОСТ 380) та в залежності від вихідних проектних рішень, зовнішній діаметр трубопроводу приймається від $d_з$ = 10,2 мм до $d_з$ = 165,0 мм. Далі, в залежності від стійкості до впливу гідронапору, труби поділяються на легкі (напір рідини не перевищує 2,4 МПа або 25 кг/см^2), звичайні (напір рідини не перевищує 2,4 МПа або 25 кг/см^2, але допускаються гідроудари) та підсилені (максимальний напір рідини досягає 3,1 МПа або 32 кг/см^2). Чим вище категорія стійкості до впливу гідронапору, тим більше проектується товщина внутрішньої стінки труби, отже збільшується маса 1 погонного метру труби.

При відсутності таблиці труб (сортаменту ДСТУ 2561:2005) розрахунок маси одного погонного метру трубопроводу здійснюється за формулою

$$m = \frac{\pi \times (d_з - s) \times s \times R}{1000},$$

де: m - теоретична маса одного погонного метра трубопроводу, кг; π = 3,14 постійна величина; $d_з$ – зовнішній діаметр, мм; s – товщина стінки трубопроводу, мм; R - питома вага сталі в г/см^3.

За даними виробників, у теперішній час найбільш розповсюдженими прокатом для прокладки міських та промислових водопровідних систем є труби із марки сталі 08кп, 1-3пс/сп зовнішнім діаметром:

- для цивільного (індивідуального) будівництва: $d_з$ = 60,0 мм при s = 3 мм;

- для промислових об'єктів: $d_з$ = 88,5 мм при s = 3,5; 4 та 4,5 мм.

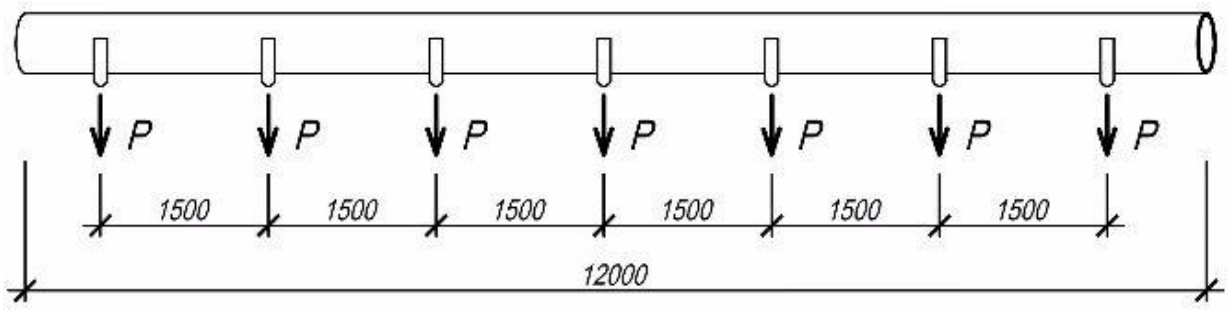
Для поточного розрахунку використаємо звичайну водогазонапірну трубу (ВГП) із сталі марки 08кп, зовнішнім діаметром $d_з$ = 88,5 мм, із товщиною стінки s = 4 мм. Згідно із сортаментом ДСТУ 2561:2005, маса одного погонного метру дорівнює 8,34 кг, отже загальна маса трубопроводу із довжиною 12 м буде дорівнюватися $P_{труб} = 12 \times 8{,}34 = 100{,}08$ кг.

Далі розрахуємо загальну масу води в трубопроводі. Для цього знаходимо обсяг циліндра: $V = \pi \times r^2 \times l = 3{,}14 \times 0{,}04025^2 \times 12{,}0 = 0{,}061\,м^3$. Загальна маса води в трубопроводі $m_в = 0{,}061 \times 1000 = 61$ кг.

Отже, сумарна загальна власна вага даного трубопроводу заповненого водою - 161,08 кг.

2) Для опору трубопроводів використаємо рожкові прямолінійні кронштейни марки Р2В11, тоді вага одного кріпильного вузла під опору трубопроводу (при використанні сталі марки Ст3кп в процесі виготовлення елементу) буде дорівнювати 3 кг.

3) Виходячи із рекомендацій, для улаштування опор під трубопровід із довжиною 12 м і загальною сумарною власною вагою 162 кг приймаємо 7 кріпильних вузлів, які мають рівномірно між собою розподіляти загальне навантаження та передавати його на клейовий шар. Відстань між вузлами кріплення 1,5 м, що задовольняє вимогам максимальної відстані між засобами кріплення для сталевих трубопроводів із зовнішнім діаметром $d_з$ > 80,0 мм [138]. Отже, побудуємо ситуаційну розрахункову схему.



ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3:

1. Експериментальними дослідженнями було визначено, що незалежно від типу руйнуючих зусиль (навантажень), геометричних характеристик клейового з'єднання (розміри в плані та товщина сталевих пластин, висота клейового шва, відстань кріплення сталевих елементів від грані бетонної конструкції) та фізико-механічних властивостей бетону руйнування клейового сталебетонного з'єднання на акрилових модифікованих композиціях відбувалося когезійно, тобто по бетону.

2. На міцність клейового кріплення, на границі бетон-сталь, при дії центрально-докладених зусиль відриву істотний вплив мають:

- умовна жорсткість сталевих опорних пластин, Δ (міцність клейового кріплення зменшується в три рази при зменшенні значень Δ від 0,225 до 0,06);

- фізико-механічні властивості бетону (зі збільшенням міцності бетонів в межах їх класів від С8/10 до С32/40 міцність кріплення збільшується в 2 рази, при цьому зростає і коефіцієнт однорідності з'єднання);

- віддалення сталевих елементів кріплення від грані будівельної конструкції, від 0 до 2,5 її розміру в плані, призводить до збільшення міцнісних показників з'єднання в 2-3 рази;

- збільшення площі пластин з 64 $см^2$ до 225 $см^2$ призводить до зменшення міцнісних показників клейового кріплення практично в 2 рази.

3. Експериментально доведено, що висота клейового шва не має істотного впливу на міцність клейового сталебетонного з'єднання на акрилових модифікованих композиціях.

4. Суттєвий вплив на міцність з'єднань сталь-клей-бетон мають наступні технологічні параметри:

- способи очищення бетонної поверхні під склеювання, при цьому найбільш високі міцнісні показники спостерігаються при якісному механічному очищенні бетонної поверхні конструкції з використанням абразивного диску;

- сторона бетонування конструкції, до якої робиться приклейка сталевого кріпильного вузла, при цьому міцність з'єднання збільшується на 55-60% у разі

приклейки на низ бетонування, ніж у випадку приклеювання на верх бетонування.

5. На міцність клейового кріпильного вузла, на границі бетон-сталь, істотний вплив має вид докладеного навантаження, а саме:

- міцність кріплення при дії позацентрово-докладених зусиль зменшується практично в 2,7 рази при підвищенні величини ексцентриситету докладання зусилля відриву в границях від $e = 0$ до $e = 0{,}4a$;

- при сумісній дії зусиль відриву та зсуву показники міцності клейового кріплення збільшуються майже в 2 рази зі збільшенням кута докладання зусилля відриву;

- міцність кріплення при сумісній дії згинального моменту та зусиль зсуву зменшується зі збільшенням величини ексцентриситету докладання зусилля в межах від $e = 0$ до $e = a$ майже в 11 раз;

- при сумісній дії крутного моменту та зусиль зсуву показники міцності клейового кріплення зменшуються майже в 7 раз зі збільшенням величини плеча докладання зусилля з $l = 0$ до $l = 3a$.

6. Технологічні параметри, які істотно впливають на міцнісні показники клейового сталебетонного з'єднання необхідно враховувати при конструюванні і розрахунку зазначених з'єднань.

7. При багаторазово повторюваних навантаженнях, границя витривалості клейових сталебетонних з'єднань, при використанні акрилових модифікованих композицій, визначається границею витривалості бетону та не залежить від коефіцієнту асиметрії циклу повторюваних напружень. Можливий на практиці розкид величин висоти клейового шва практично не позначається на межі витривалості з'єднань сталь-клей-бетон.

8. Рекомендований акриловий модифікований клей здатний безаварійно утримувати сумарну вагу кріпильного вузла та технологічних комунікацій при дії короткочасних зусиль навантаження, при склеюванні елементів на вертикальних поверхнях залізобетонних будівельних конструкцій. Повзучість клейового шару має загасаючий характер і стабілізується протягом 10 годин

при нормальних умовах навколишнього середовища. При знижених умовах навколишнього середовища повзучість клейового шва має загасаючий характер та стабілізується протягом 14 годин.

9. Експериментальні дослідження показали, що акрилові модифіковані композиції забезпечують надійне кріплення різноманітного інженерного обладнання та устаткування з бетонною основою методом поверхневої приклейки кріпильних вузлів.

РОЗДІЛ 4
ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КЛЕЙОВИХ СТАЛЕБЕТОННИХ З'ЄДНАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

4.1. Розрахунок будівельних конструкцій за допомогою метода скінченних елементів на ЕОМ

В теперішній час, в будівельній галузі широко застосовується метод скінченних елементів (МСЕ), як інструмент для розрахунку різних конструкцій, який базується на дискретизації задач механіки безперервного середовища [144]. Проблема пошуку безперервних функцій координат зводиться до визначення скінченної кількості невідомих параметрів і дискретних невідомих. Відомими функціями в МСЕ є комбінації скінченного числа лінійно незалежних функцій, область визначення яких є локальною, системи, що відносяться до деякої частини конкретного скінченного елементу.

У розрахунках із застосуванням МСЕ конструкція розбивається на окремі скінченні елементи, напружено-деформований стан яких відомий. З'єднання елементів здійснюється в окремих граничних точках (вузлах) де дотримуються умови рівноваги і безперервність переміщень. Деформація кожного скінченного елементу описується скінченною кількістю узагальнених координат (за числом ступенів свободи), яка залежить від виду напружено-деформованого стану і типу елемента. Нумерація вузлів проводиться так, щоб різниця між сусідніми вузлами була якомога менше

Одною з головних переваг даного методу – є можливість описання роботи конструкції за допомогою математичних залежностей і створення для їх вирішення відповідних програм для ПЕОМ [145]. На сьогодні відомо багато розроблених програмних комплексів, з яких найбільш потужними і зручними в користуванні є ЛІРА, ANSYS, SOFiSTiK, SCAD Office та інші.

ЛІРА – програмний комплекс, який призначений для чисельного дослідження міцності і стійкості конструкцій, а також для автоматизованого

виконання ряду процесів конструювання. ПК “ЛІРА” забезпечує дослідження широкого класу конструкцій: просторові стрижневі і оболонкові системи, масивні тіла, комбіновані системи – рамно-зв’язкові конструкції висотних будівель, плити на ґрунтовій основі, ребристі плити, багатошарові конструкції та з’єднання тощо.

ANSYS – найпоширеніша у світі, багатофункціональна сучасна система скінченно-елементних розрахунків. Включає модулі розрахунків міцності і динаміки, температурних полів, гідрогазодинаміки, електростатики, електромагнетизму, оптимізації, імовірнісних розрахунків, високо-нелінійних розрахунків за явною схемою інтеграції та інші. Даний ПК надає унікальну можливість одночасно або по черзі розраховувати декілька фізичних полів у рамках одного завдання.

4.2. Алгоритм розрахунку конструкцій та з’єднань з урахуванням фізичної нелінійності їх деформування

Для проведення моделювання була врахована фізична нелінійність, тому що нелінійна робота конструкції дозволяє здійснювати побудову адекватних розрахункових схем, виявляти додаткові резерви несучої здатності, знижувати матеріаломісткість, забезпечувати конструктивну безпеку, здійснювати моделювання процесів життєвого циклу конструкцій – процес навантаження, процес зведення, процес зміни напружено-деформованого стану конструкції в часі, стійкість від прогресуючого обвалення тощо.

Фізична нелінійність обумовлена урахуванням в розрахунку нелінійної залежності між компонентами узагальнених напружень і деформацій $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$. Нелінійна залежність між компонентами узагальнених напружень і деформацій характеризує роботу матеріалу(-ів) конструкції в пружно-пластичній зоні [146].

В лінійних задачах існує лінійна залежність між навантаженнями і деформаціями внаслідок малості переміщень. Напруження (зусилля) та деформації пов’язані між собою лінійним законом Гука. Тому для лінійних

задач справедливий принцип суперпозиції і незалежності дії зусиль. В даному випадку матеріали конструкції підпорядковуються нелінійному закону деформування (нелінійна пружність). Закон деформування може бути симетричним або несиметричним – з різними границями опору розтягу та стиску. У геометрично нелінійних задачах відсутня лінійна залежність між деформаціями і переміщеннями. На практиці найбільшого поширення має випадок великих переміщень при малих деформацій. Вирішення цих задач проводиться покроковим методом, причому крок вибирається автоматично. У задачах конструктивної нелінійності має місце зміна розрахункової схеми в залежності від ступеню деформування конструкції. Так, наприклад, в контактних задачах при досягненні деякою точкою конструкції певної величини переміщення виникає контакт цієї точки з опорою [147]. При вирішенні задач конструктивної нелінійності, які моделюють пружно-пластичну роботу матеріалу (з описанням діаграмою Прандтля), застосовується покроково-ітераційний метод. Отже, для подальшого моделювання обраний саме покроково-ітераційний метод (рис. 4.1).

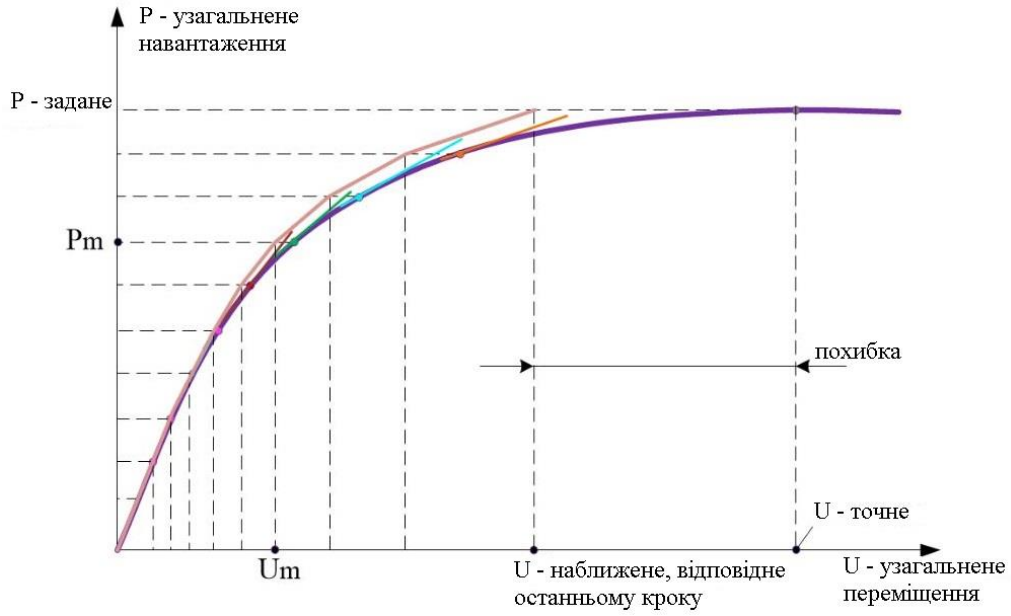


Рис. 4.1. Діаграма нелінійного деформування матеріалів

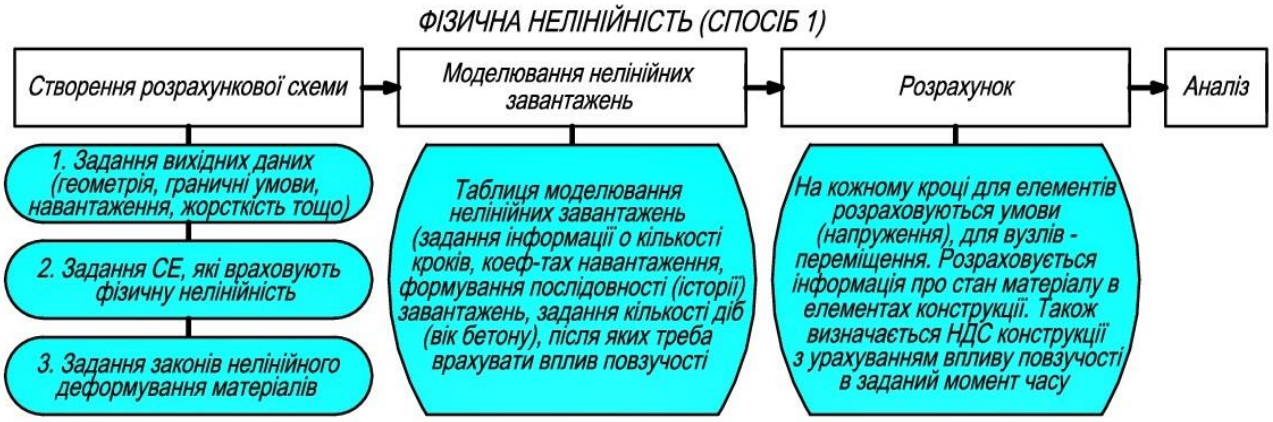


Рис. 4.2. Алгоритм розрахунку з урахуванням фізичної нелінійності

4.3. Моделювання клейового сталебетонного з'єднання в середовищі ПК "ЛІРА 10"

З метою верифікації результатів проведених випробувань, які наведені в Розділі 3.1, проведено чисельне моделювання експерименту в некомерційній версії програмного комплексу ЛІРА-САПР та ЛІРА 10 (ліцензія № 1/1095).

В рамках задачі на клейове сталебетонне кріплення по черзі діють три типи руйнуючих зусиль (рис. 4.3):

- P_1 – центрально-докладене зусилля відриву;

- P_2 – сумісна дія пари сил (моделювання згинального моменту);

- P_3 – зусилля зсуву.

Діючі навантаження узгоджені згідно проведених експериментальних випробувань (Розділ 3.1) та задані наступними значеннями:

- центрально-докладене зусилля відриву – 26500 Н;

- сумісна дія пари сил (згин) - 46000 Н;

- зусилля зсуву - 42000 Н.

При цьому в лабораторних випробуваннях значення міцності з'єднання (в залежності від класу бетону) в середньому дорівнювало 5,0 МПа (50,98 кгс/см^2).

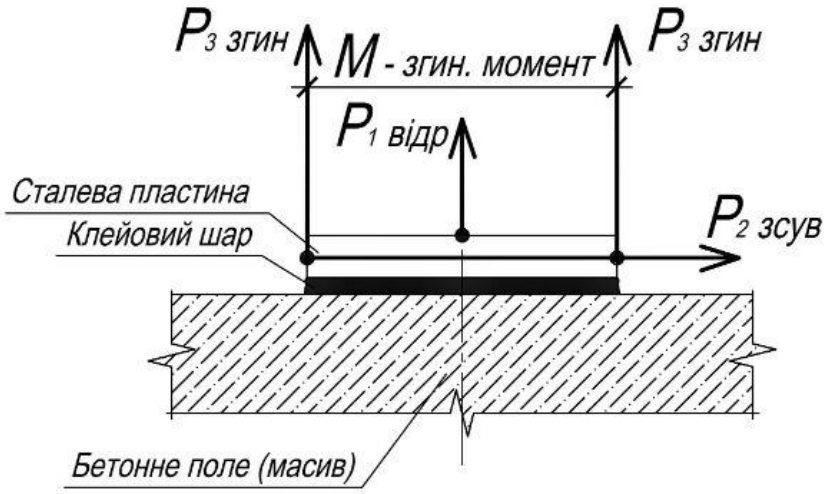


Рис. 4.3. Зусилля, які змінно діють у клейовому безанкерному з'єднанні

Вихідні дані та геометрія з'єднання:

а) *Шар клею* - покращена акрилова композиція: коефіцієнт Пуассона – 0,34; модуль пружності матеріалу - 4,4 ГПа; щільність – 1143 кг/м^3. Розміри клейового шва дорівнюють 100×100 мм. Висота клейового шва 2, 4, 8 та 12 мм відповідно.

б) *Шар сталі (сталева пластина)* – сталь вуглецева якісна Ст 08кп: коефіцієнт Пуассона – 0,28; модуль пружності матеріалу – 203000 МПа; щільність – 7850 кг/м^3. Розмір сталевої пластини 100×100 мм. Висота (товщина) – 10 мм.

в) *Шар бетону* – бетон класу С20/25 (f_{ctm} = 2,2 МПа). Шар бетону задається у вигляді бетонного куба розміром 200×200×200 мм.

Моделювання фізичної нелінійності сталі, клею та бетону виконувалися за допомогою скінченних елементів, що оперують бібліотекою законів деформування матеріалів. В результаті нелінійний розрахунок дозволяє виконати оцінку розвитку пружних та пластичних деформацій в клейовому прошарку та бетонному масиві на кожному етапі навантаження та отримати руйнуюче навантаження, при якому розрахункова схема стає геометрично змінюваною.

Побудовані СЕ моделі експериментального зразка з трьома видами завантажень в просторовій постановці з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів. Елементи з'єднання розбиті на СЕ таким чином, щоб найбільш точно змоделювати напружено-деформований стан всіх шарів досліджуваного клейового кріплення.

Використання програмних комплексів для розрахунків конструкцій за методом скінченних елементів відзначається наочністю результатів у вигляді розподілів переміщень та полів напружень у досліджуваних конструкціях.

Скінченний елемент має місцеву систему координат, що співпадає з глобальною. На рис. 4.4 наведене схематичне зображення СЕ та послідовність нумерації його вузлів.

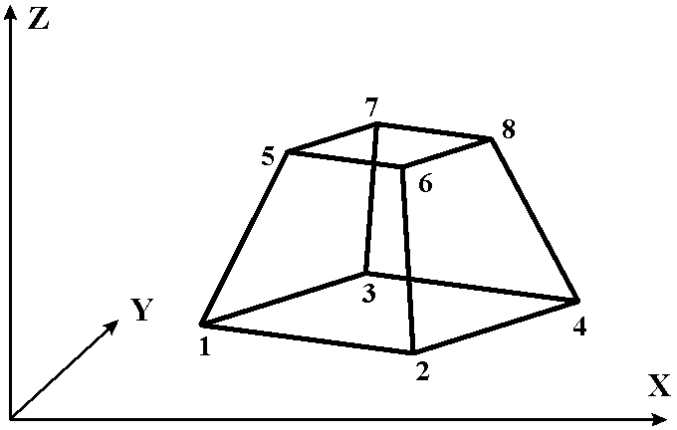


Рис. 4.4. Схематичне зображення СЕ Тип 236 і послідовна нумерація його вузлів

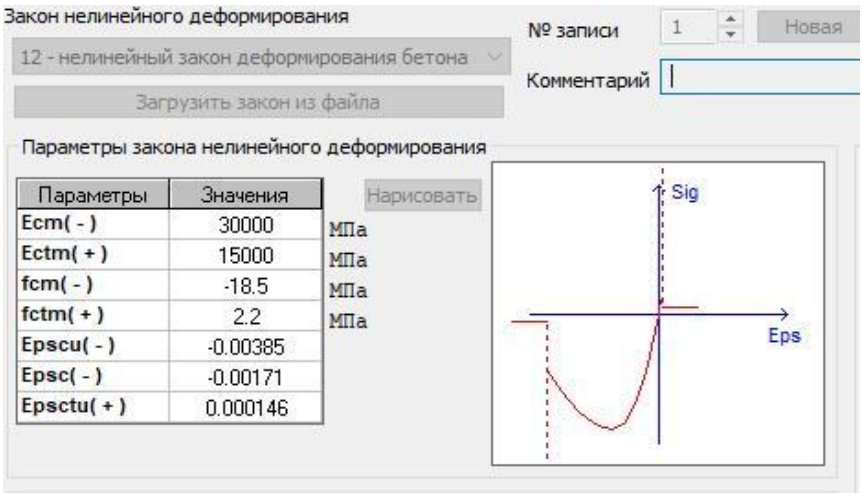
При розрахунку твердотілої тривимірної моделі досліджуваного з'єднання для моделювання бетону застосовувався скінчений елемент Тип 236 - фізично нелінійний універсальний просторовий 8-вузловий ізопараметричний СЕ. Даний скінченний елемент призначений для міцнісного розрахунку континуальних об'єктів і масивних просторових конструкцій з урахуванням фізичної нелінійності матеріалу. Вузол скінченного елементу має три ступеня свободи:

- *U* - лінійне переміщення по осі *X*;

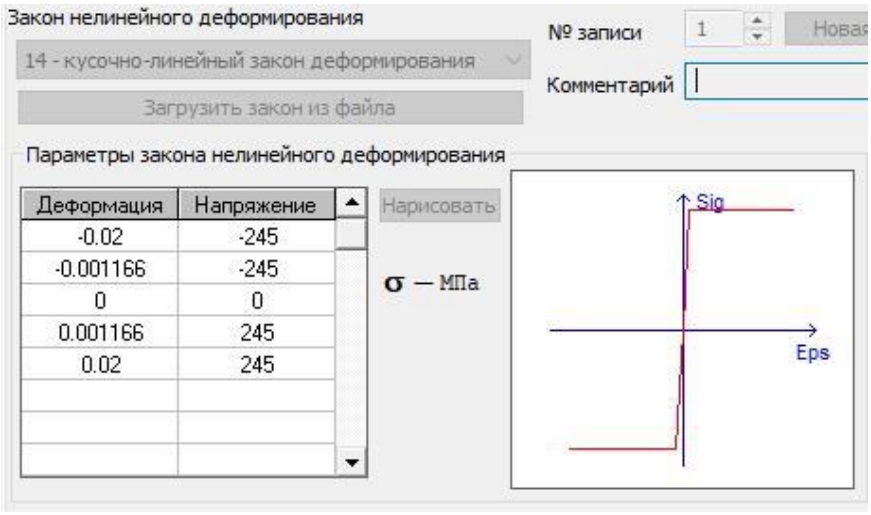
- *V* - лінійне переміщення по осі *Y*;

- *W* - лінійне переміщення по осі *Z*.

а)



б)



в)

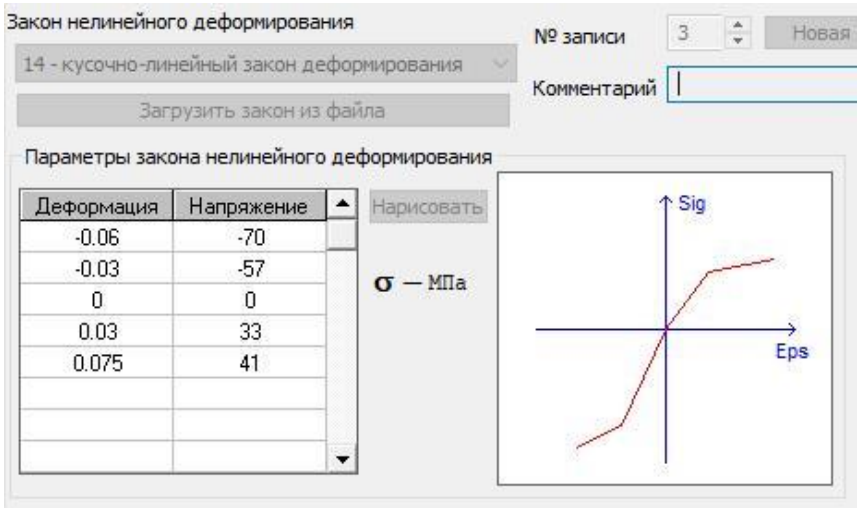


Рис. 4.5. Параметри матеріалів: *а* – бетон, *б* – сталь, *в* – акриловий клей

Кількість вузлів – 34642. Кількість елементів – 31400. Розміри 2-5 мм грані, всі паралелепіпеди.

Першим етапом чисельного моделювання був аналіз напружено-деформованого стану клейового з'єднання сталі з бетоном для загального уявлення про роботу даного кріплення. Тривимірний вигляд моделі з пошаровою розбивкою сітки скінченних елементів наведений на рис. 4.6.

а) *б)*

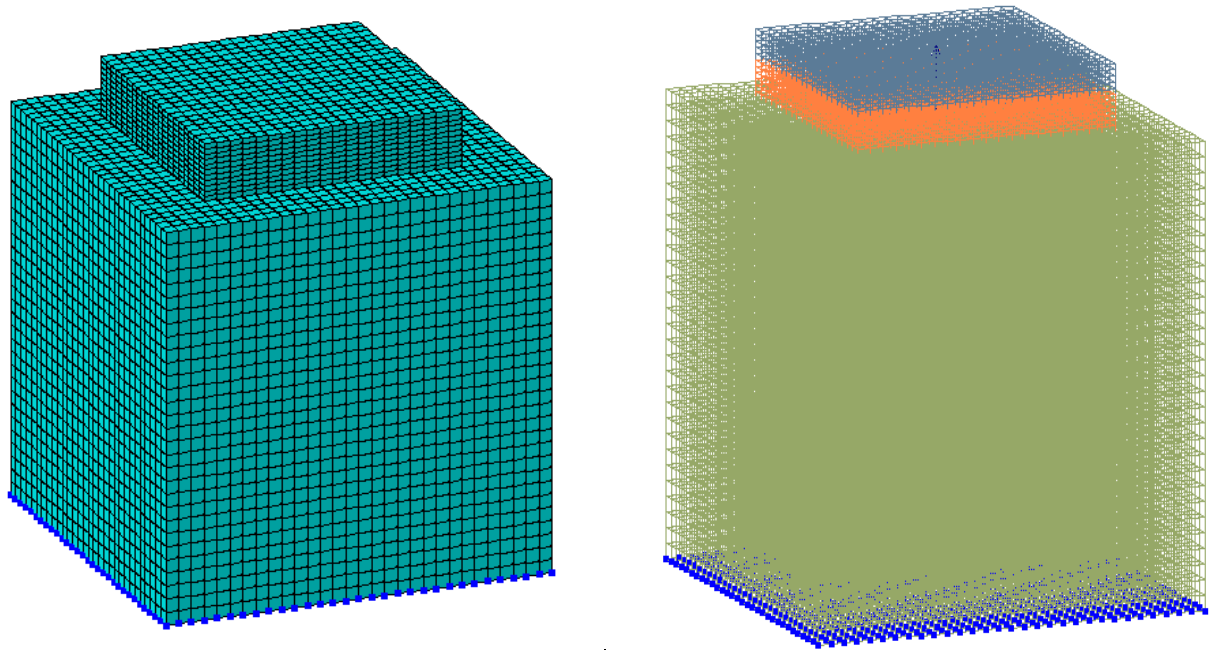


Рис. 4.6. Тривимірна модель клейового сталебетонного з'єднання: *а* – загальний вид, *б* – пошарова розбивка моделі на СЕ

Отже, при використанні покроково-ітераційного методу загальне навантаження було розбито на 20 кроків (поступове додавання по 5% від загального навантаження). Чисельні розрахунки клейового сталебетонного з'єднання на дію центрально-докладеного зусилля відриву приведені на рис. 4.7-4.14.

а) *б)*

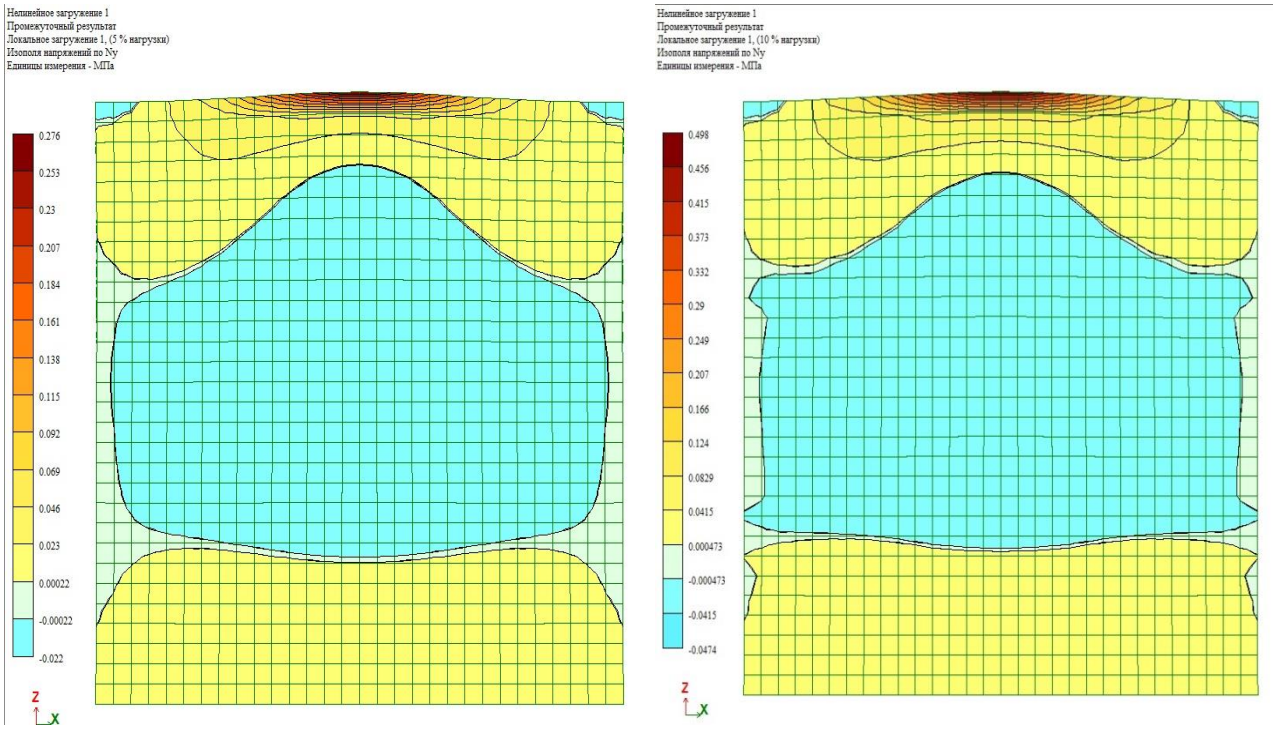


Рис. 4.7. Ізополя вертикальних напружень σ_y в бетоні при дії центрально-докладеного відриву, МПа: *а* - 5% від загального навантаження; *б* - 10% від загального навантаження

а) *б)*

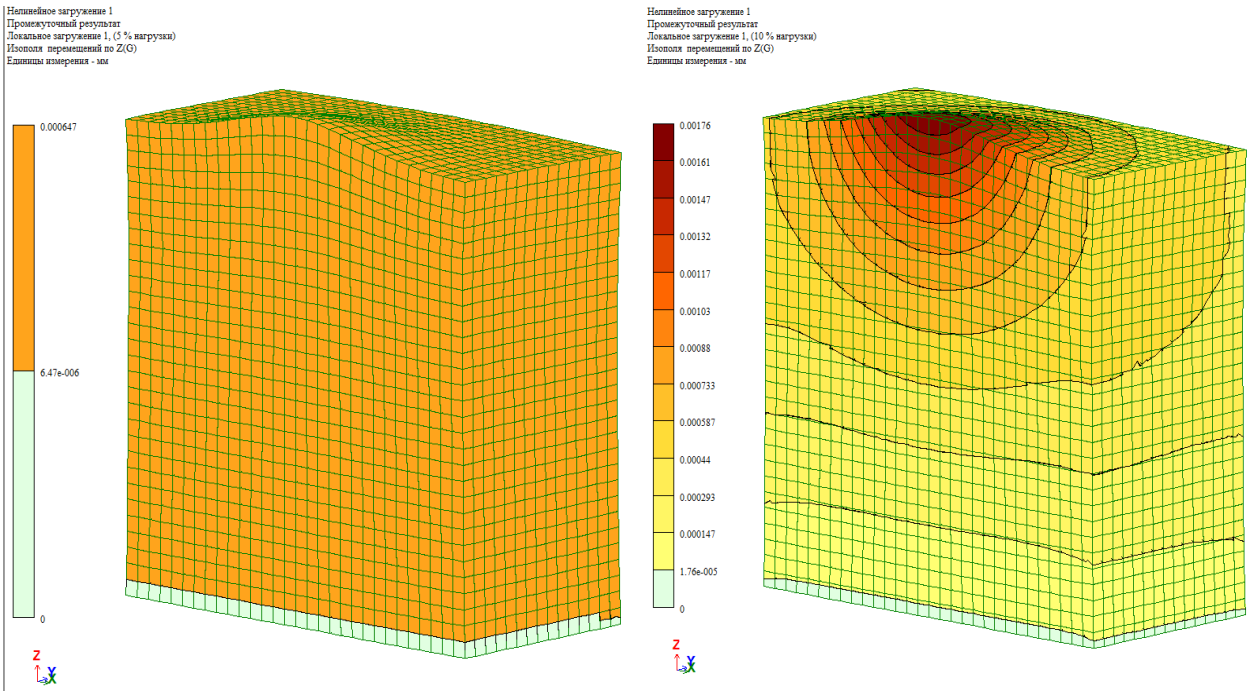


Рис. 4.8. Розподіл переміщень в бетоні при дії центрально-докладеного відриву, мм: *а* - 5% від загального навантаження; *б* - 10% від загального навантаження

а) *б)*

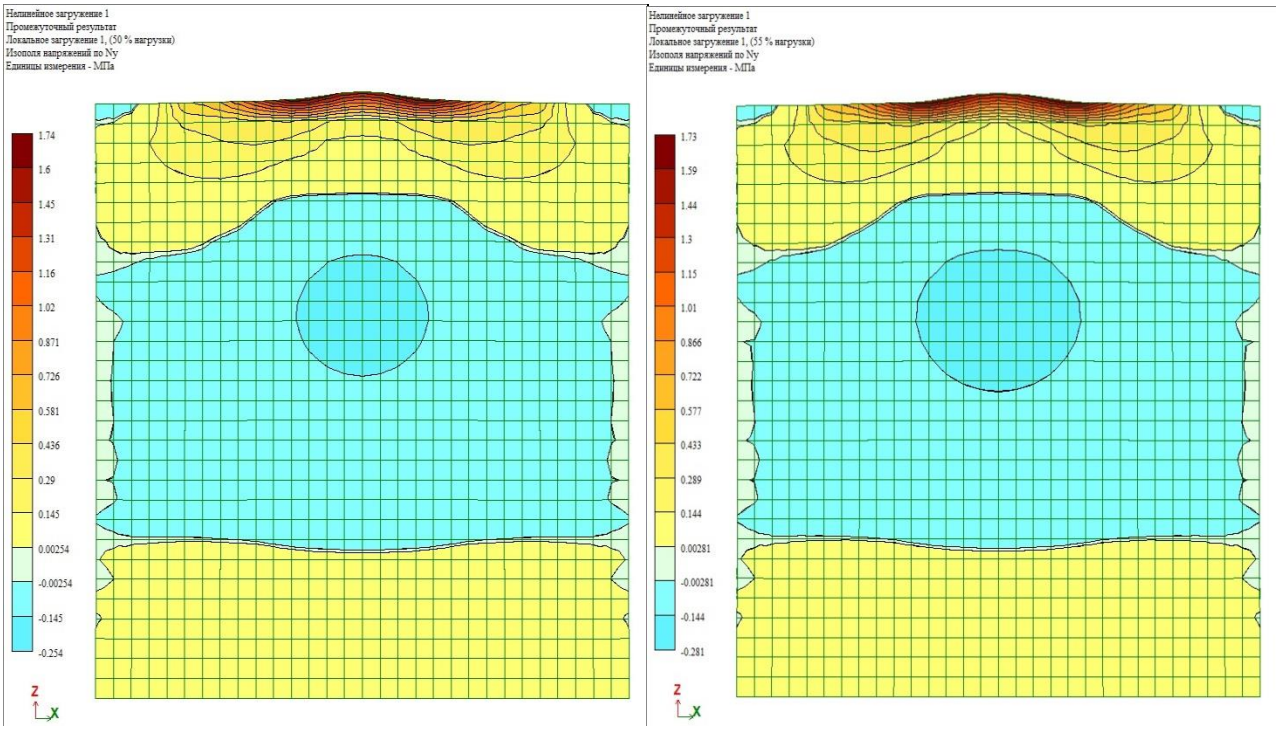


Рис. 4.9. Ізополя вертикальних напружень σ_y в бетоні при дії центрально-докладеного відриву, МПа: *а* - 50% від загального навантаження; *б* - 55% від загального навантаження

а) *б)*

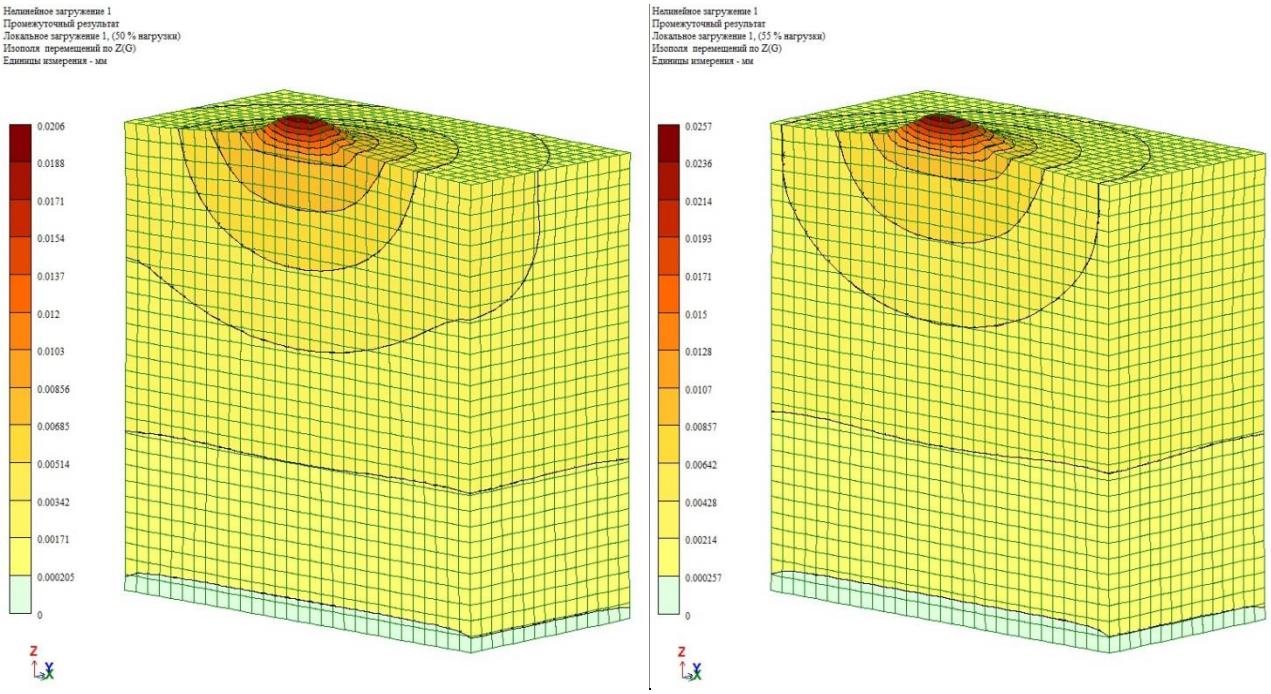


Рис. 4.10. Розподіл переміщень в бетоні при дії центрально-докладеного відриву, мм: *а* - 50% від загального навантаження; *б* - 55% від загального навантаження

а) *б)*

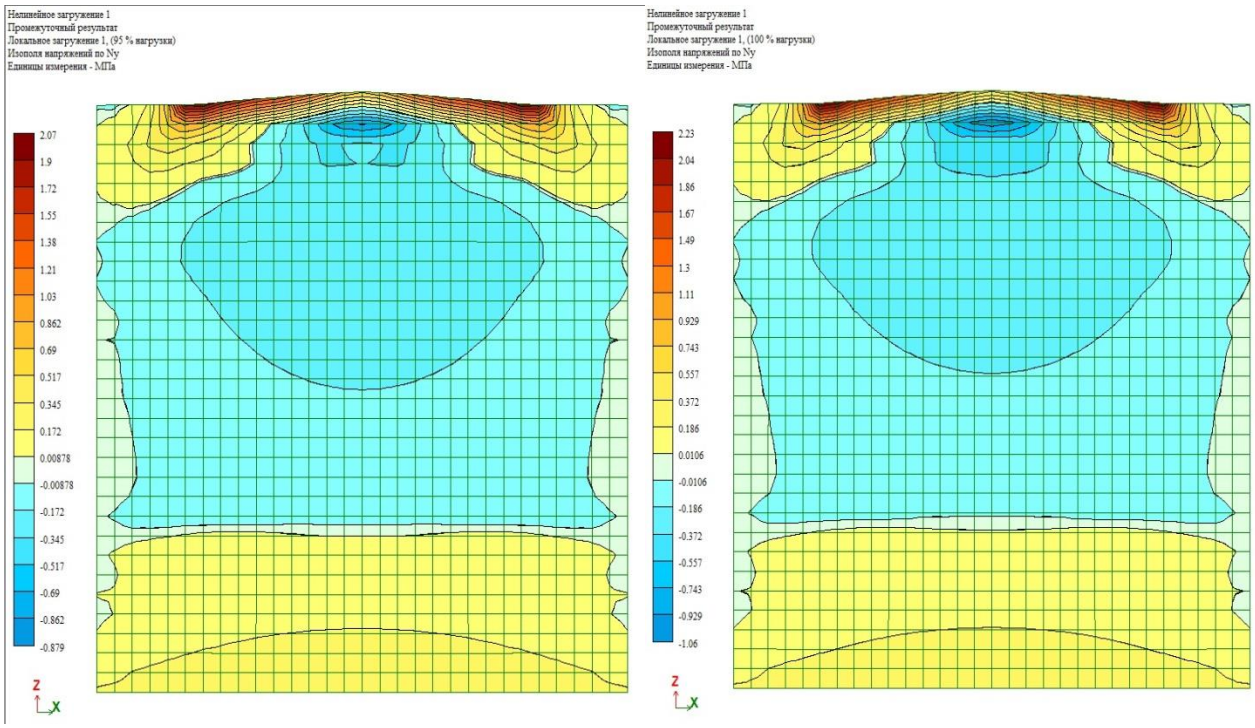


Рис. 4.11. Ізополя вертикальних напружень σ_y в бетоні при дії центрально-докладеного відриву, МПа: *а* - 95% від загального навантаження; *б* - 100% від загального навантаження

а) *б)*

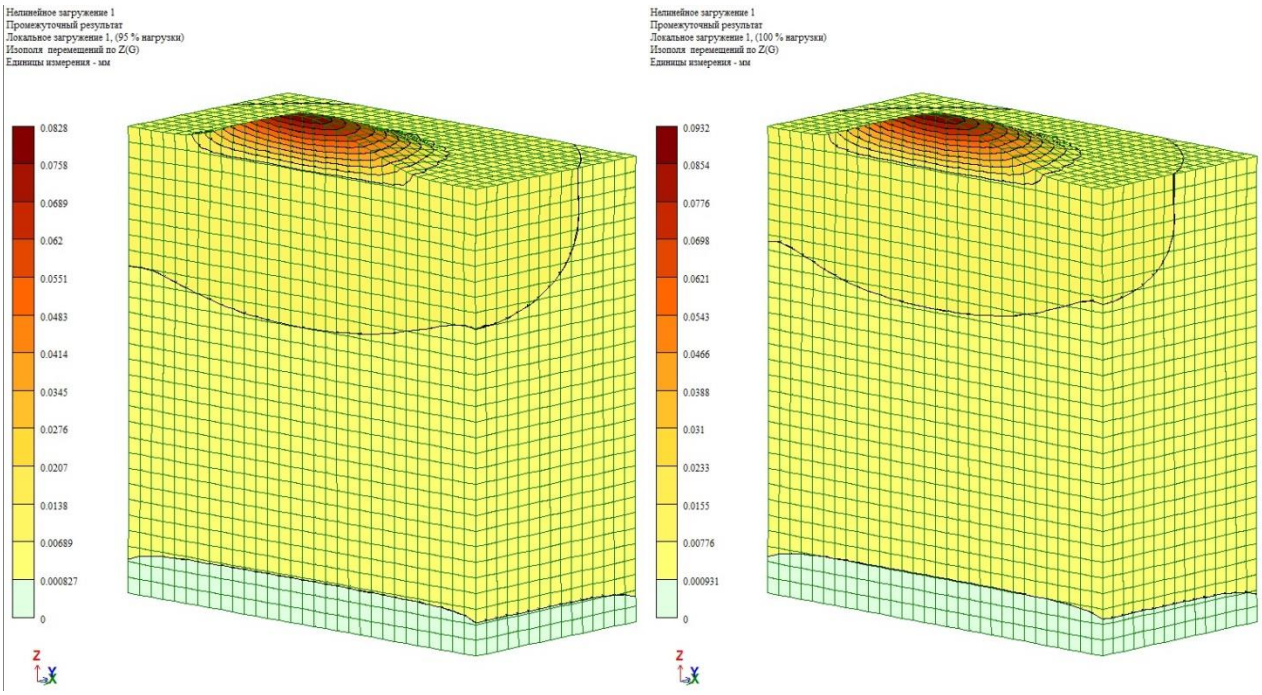


Рис. 4.12. Розподіл переміщень в бетоні при дії центрально-докладеного відриву, мм: *а* - 95% від загального навантаження; *б* - 100% від загального навантаження

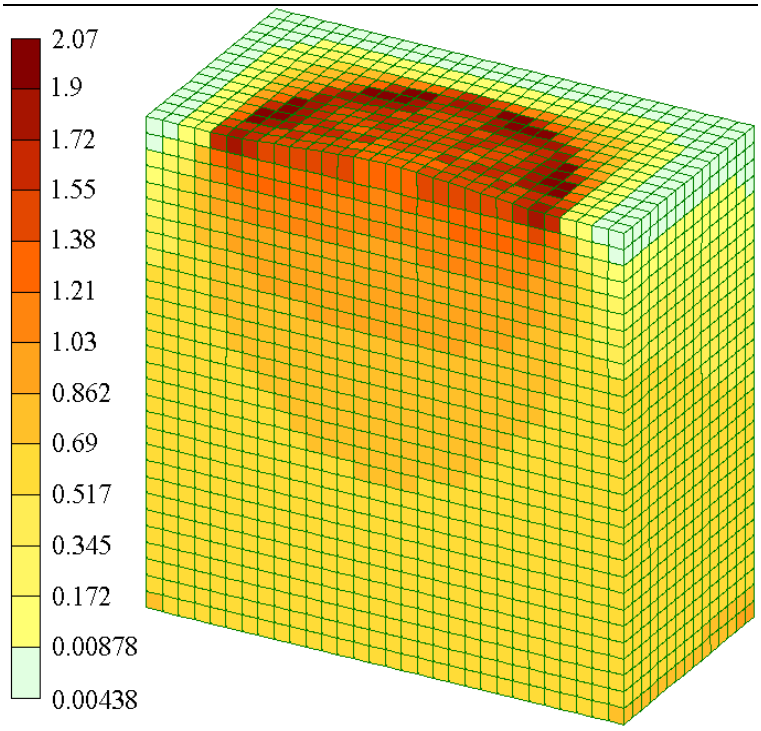


Рис. 4.13. Головні напруження розтягу σ_1 в бетоні при дії зусиль центрально-докладеного відриву (95 % від загального навантаження 26500 Н)

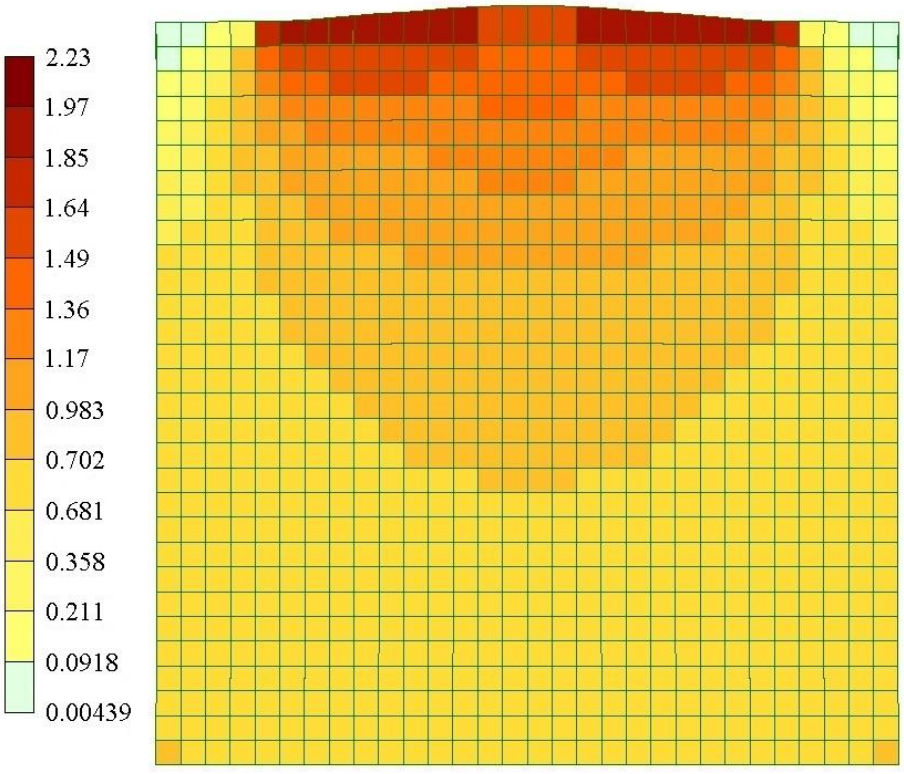


Рис. 4.14. Головні напруження розтягу σ_1 в бетоні при дії зусиль центрально-докладеного відриву (100 % від загального навантаження 26500 Н)

Виходячи з отриманих результатів (ізополів напружень, розподілу переміщень та деформаційних схем), моделювання центрально-докладеного зусилля відриву свідчить про те, що остаточне руйнування з'єднання (система стала геометрично змінюваною) відбувається на 20 кроці, тобто на 95% від докладеного загального навантаження (рис. 4.15).

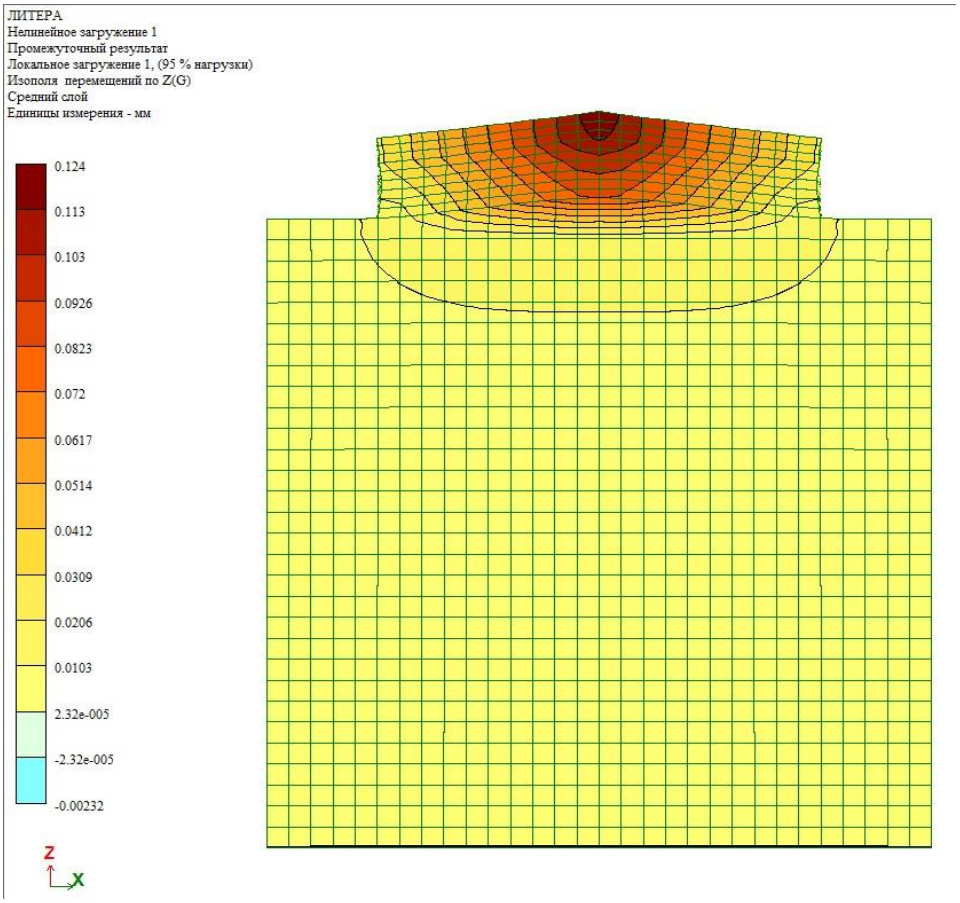


Рис. 4.15. Пошарова деформаційна схема клейового сталебетонного з'єднання при дії центрально-докладеного відриву, мм

Аналогічним чином було проведено моделювання дії зусиль зсуву та дії згинального моменту на клейове з'єднання сталі з бетоном. Були отримані відповідні пошарові деформаційні схеми з'єднання (рис 4.16-4.17). Руйнування клейового сталебетонного з'єднання при докладанні зусиль зсуву відбувається на 18 кроці (85% від докладеного загального навантаження), а при моделюванні дії згинального моменту – на 19 кроці (90% від докладеного загального навантаження).

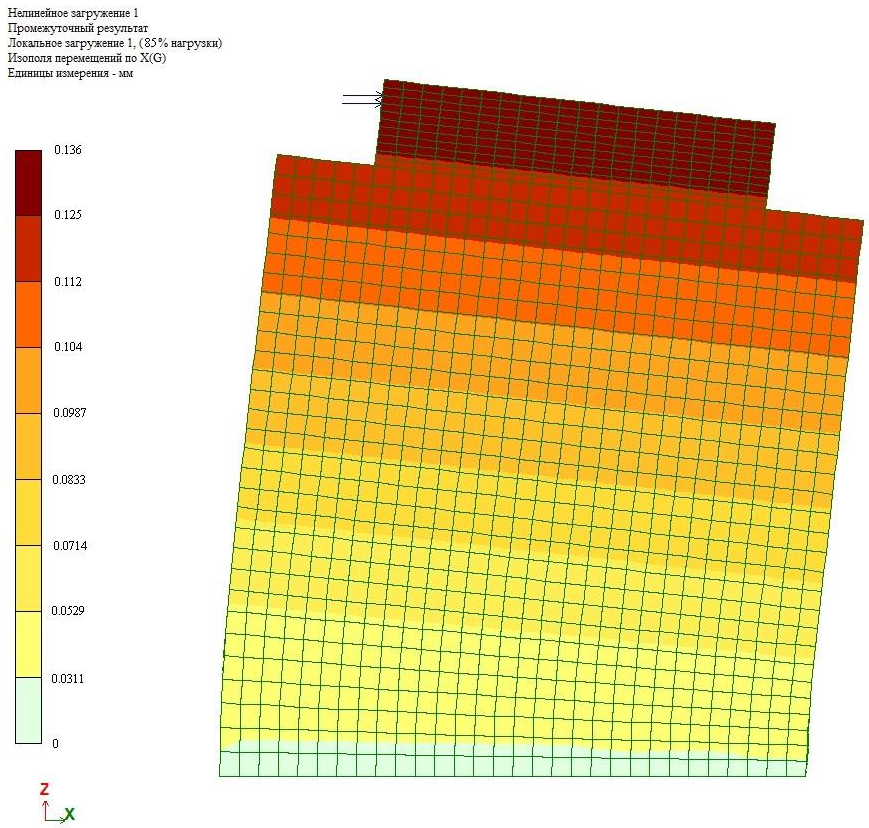


Рис. 4.16. Пошарова деформаційна схема клейового сталебетонного з’єднання при дії зусиль зсуву, мм

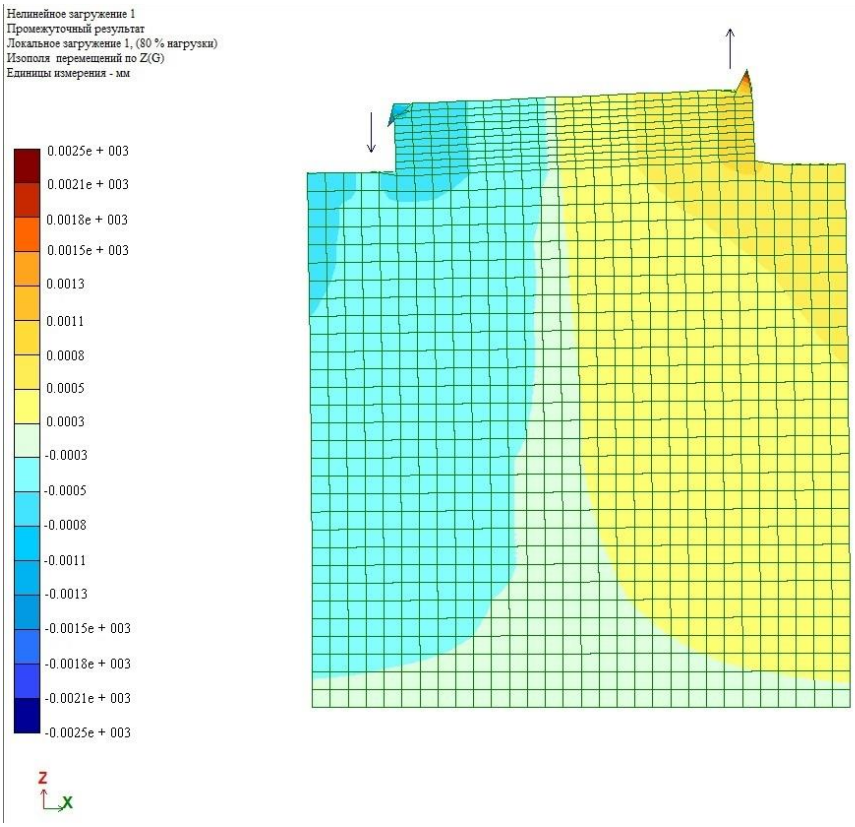


Рис. 4.17. Пошарова деформаційна схема клейового сталебетонного з’єднання при дії пари сил (згин), мм

Також при проведенні моделювання змінно варіювалась висота клейового шару. Висота клейового шару призначалась 2, 4, 8 та 12 мм (рис. 4.18-4.23).

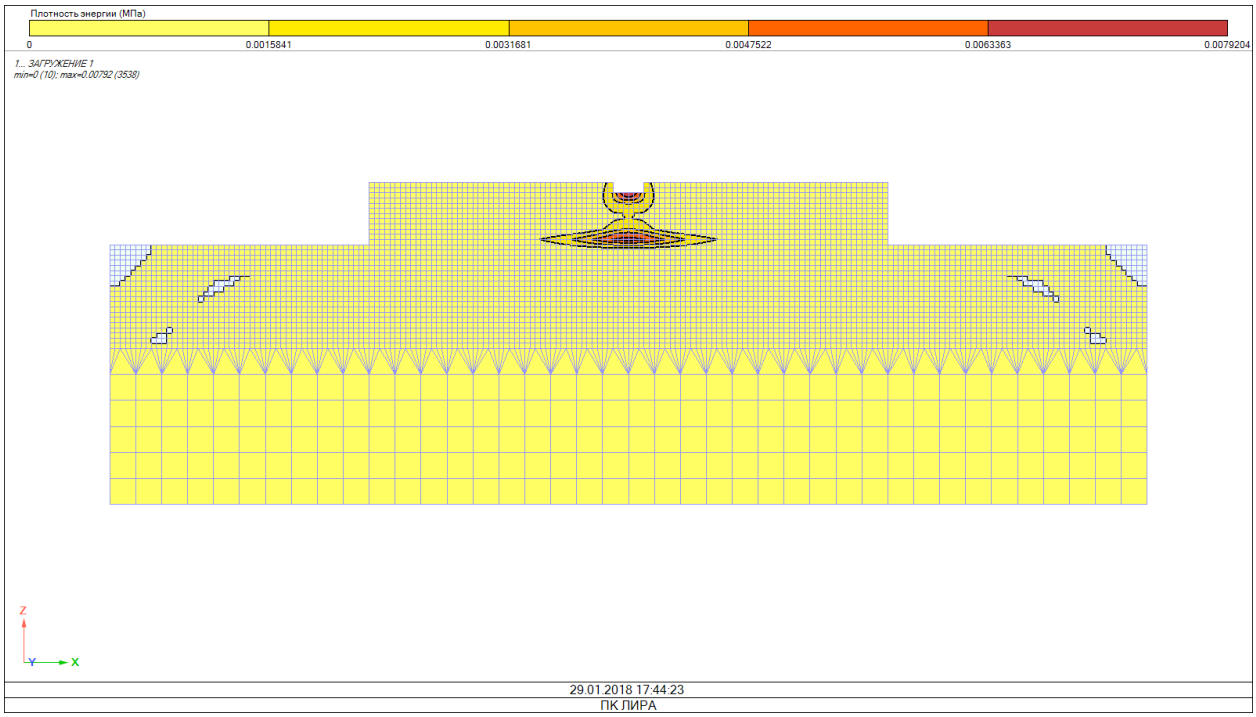


Рис. 4.18. Розподіл щільності енергії деформації в клейовому сталебетонному з’єднанні при дії зусиль центрально-докладеного відриву, МПа, $t_{кл}$ = 2 мм

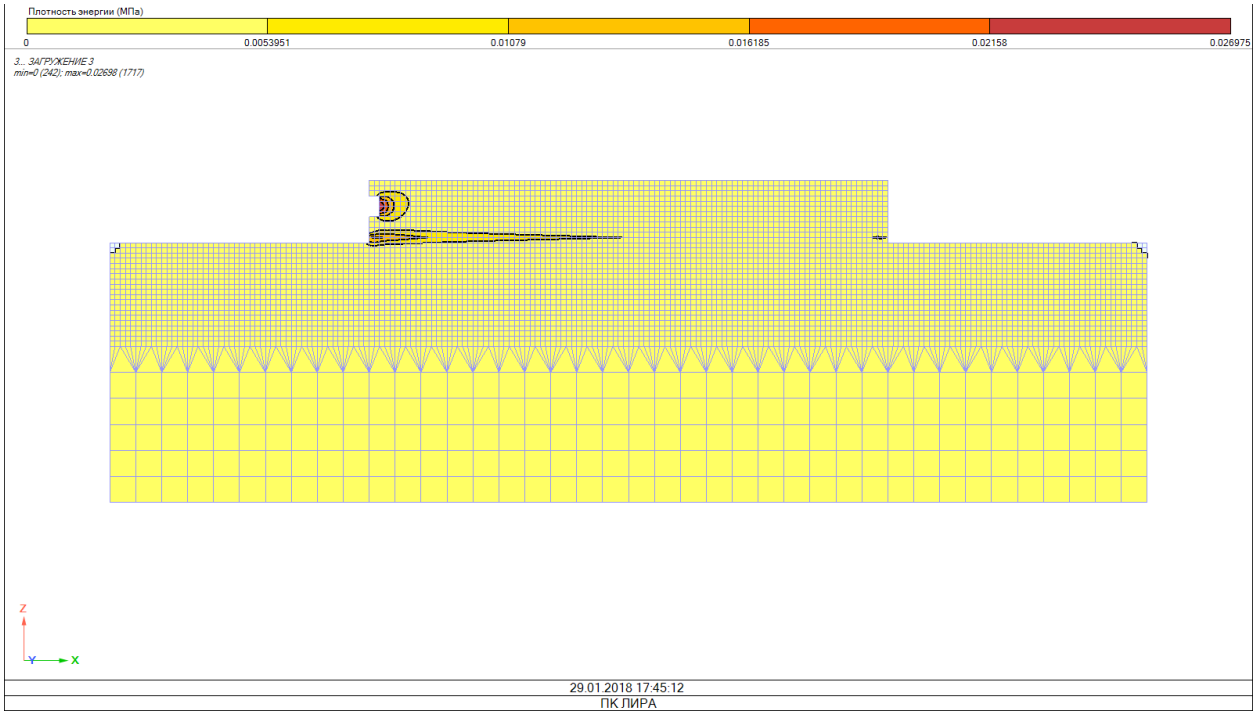


Рис. 4.19. Розподіл щільності енергії деформації клейовому сталебетонному з’єднанні при дії зусиль зсуву, МПа, $t_{кл}$ = 2 мм

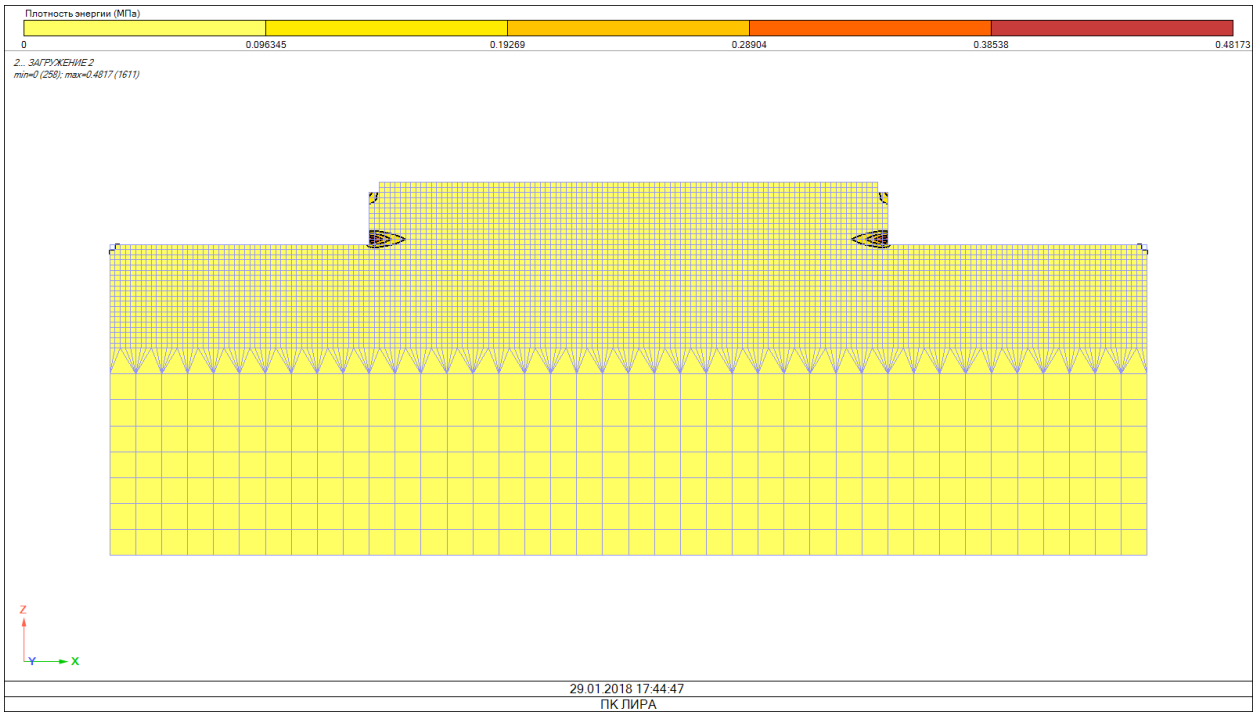


Рис. 4.20. Розподіл щільності енергії деформації клейовому сталебетонному з’єднанні при дії згинального моменту, МПа, $t_{кл}$ = 2 мм

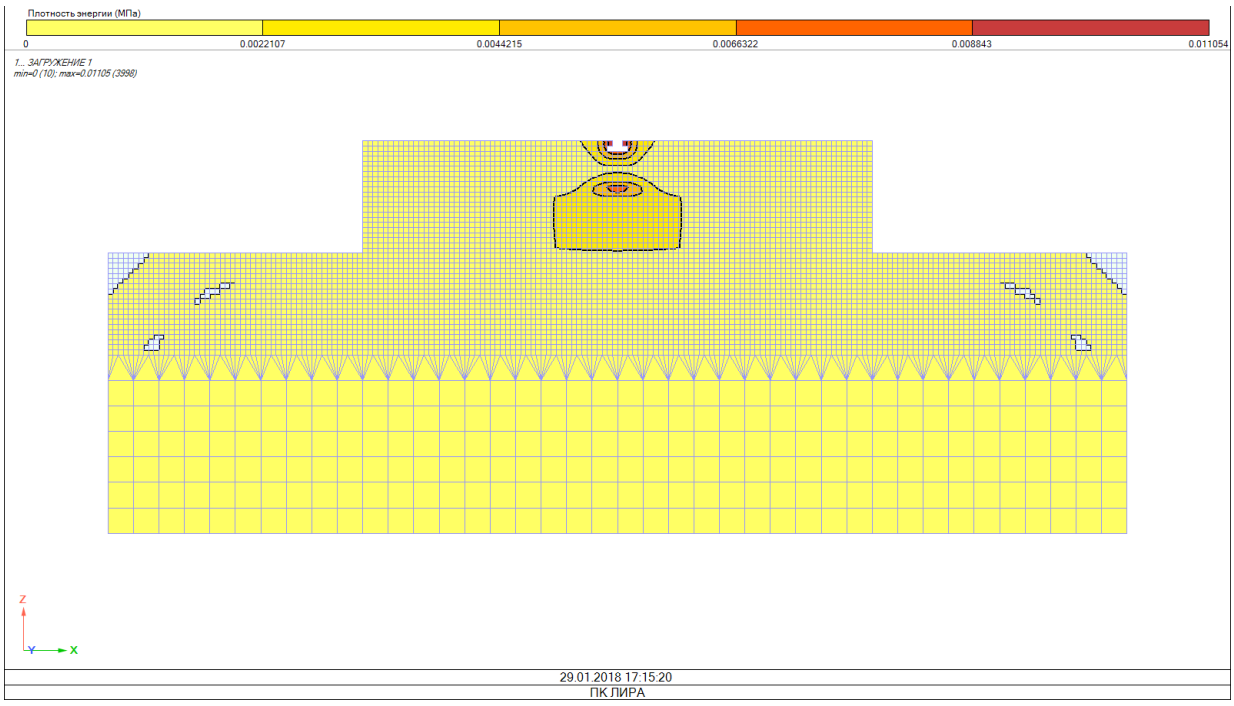


Рис. 4.21. Розподіл щільності енергії деформації в клейовому сталебетонному з’єднанні при дії зусиль центрально-докладеного відриву, МПа, $t_{кл}$ = 12 мм

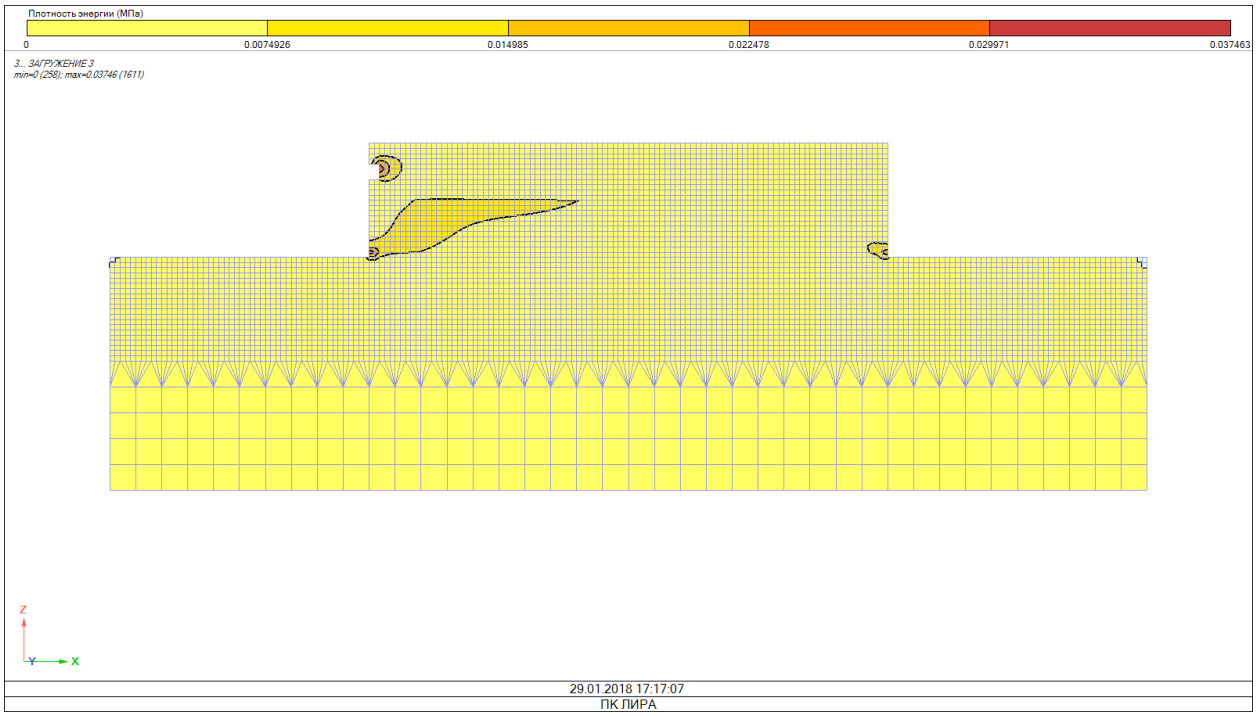


Рис. 4.22. Розподіл щільності енергії деформації в клейовому сталебетонному з'єднанні при дії зусиль зсуву, МПа, $t_{кл}$ = 12 мм

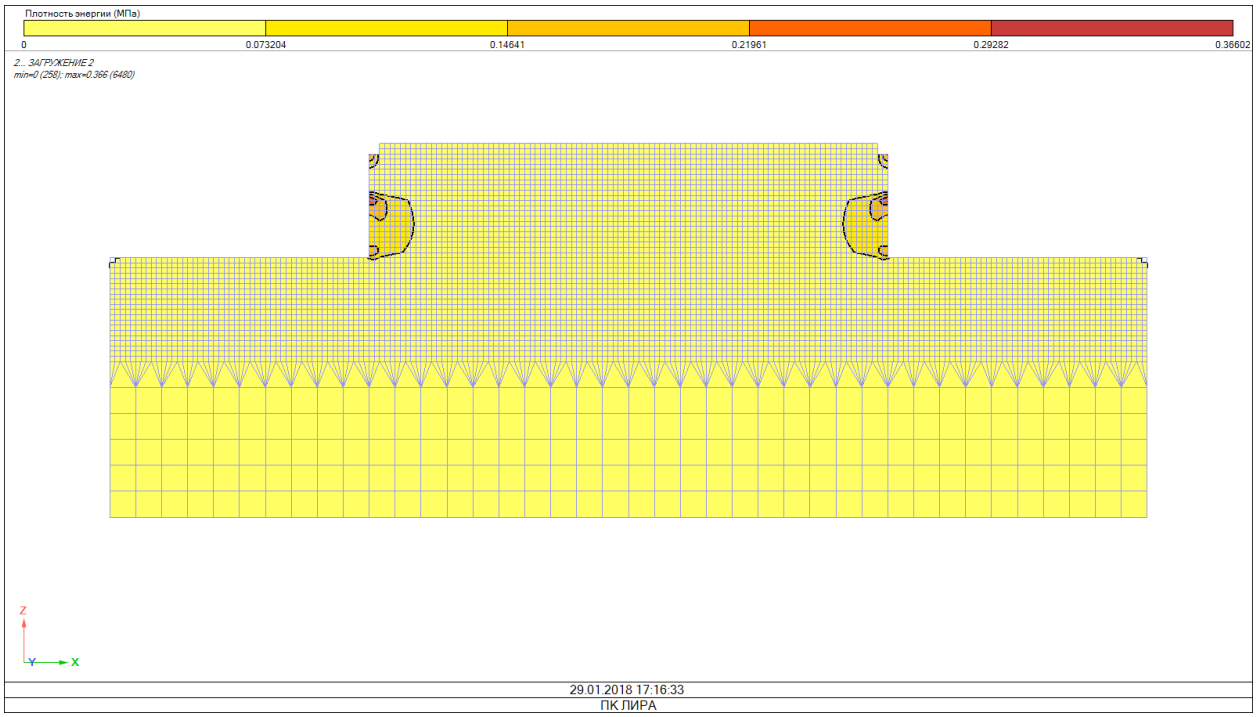


Рис. 4.23. Розподіл щільності енергії деформації в клейовому сталебетонному з'єднанні при дії згинального моменту, МПа, $t_{кл}$ = 12 мм

Аналіз отриманих результатів щільності енергії деформації проведений на базі наукових досліджень Г.В. Василькова та В.С. Шмуклера (критерій

мінімальної потенційної енергії деформації [148, 149]). Даний підхід цілком підтверджує результати лабораторних експериментальних випробувань - руйнування клейового сталебетонного з'єднання в кожному з розглянутих завантажень відбуватиметься саме в бетонному масиві, а не по клею (при будь-якому значенні його висоти).

4.4. Моделювання клейового сталебетонного з'єднання в середовищі ПК "ANSYS"

З метою верифікації результатів проведених випробувань, які наведені в Розділі 3.1, проведено чисельне моделювання експерименту в некомерційній версії програмного комплексу ANSYS Academic Student v.R17.

Для моделювання застосовувалась схема (рис. 4.3), як у попередньому підрозділі роботи із аналогічними навантаженнями та геометрією з'єднання .

Відрізняється клас бетону - С16/20 (f_{ctm} = 1,9 МПа), $\delta_{кл}$ – 2 мм.

Для урахування та деталізації фізичної нелінійності деформування бетону використовувались результати проведених натурних випробувань з побудовою функціональних залежностей σ-ε на осьовий розтяг [150].

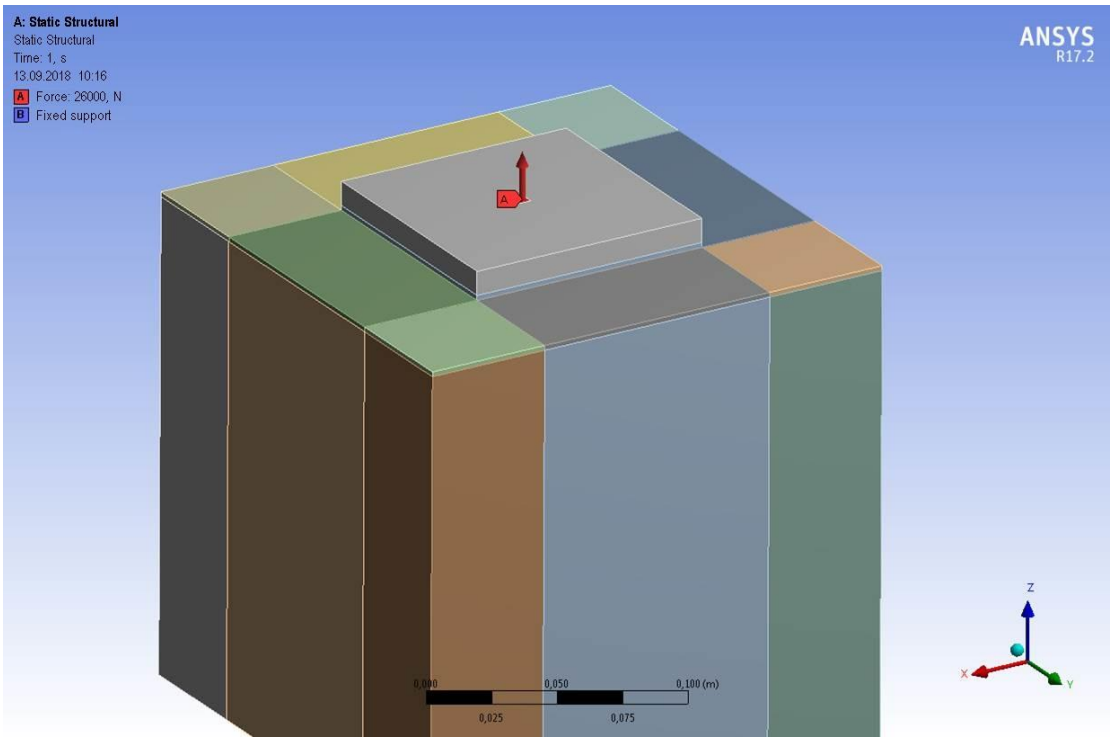


Рис. 4.24. Загальний вид тривимірної моделі клейового сталебетонного з'єднання

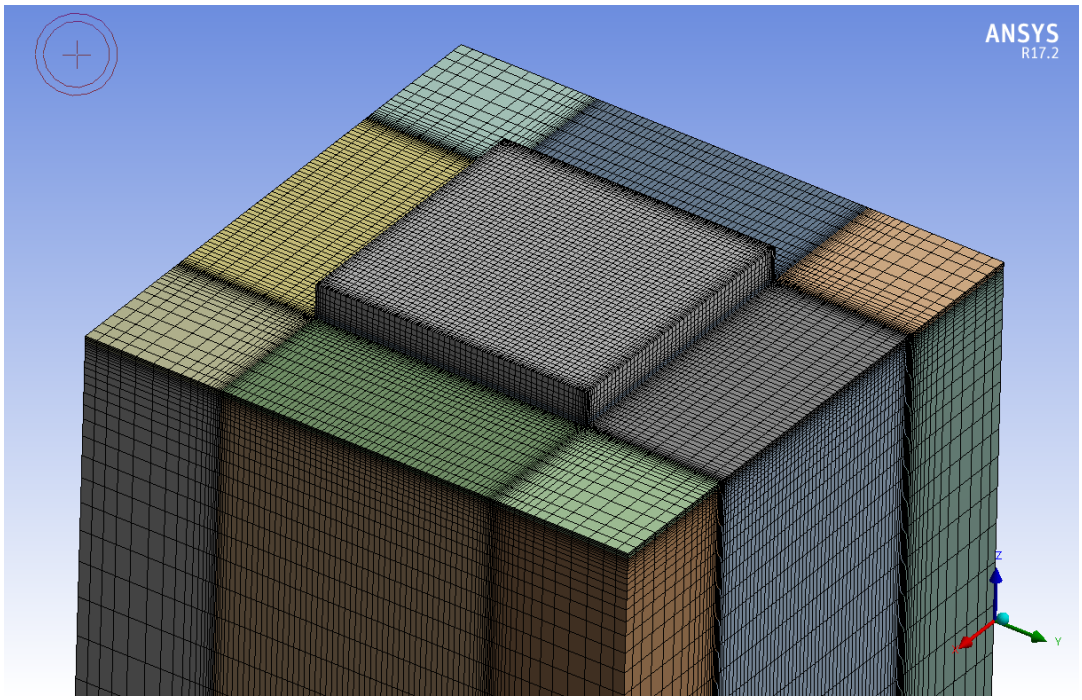


Рис. 4.25. Сітка скінченних елементів з’єднання

Table of Properties Row 12: Multilinear Isotropic Hardening

	A
1	Temperature (C)
2	22
*	

	B	C
1	Plastic Strain (m m^-1)	Stress (Pa)
2	0	1
3	4E-06	3,0E+05
4	1E-05	7,6E+05
5	1,6E-05	11,5E+05
6	2,2E-05	15,0E+05
7	2,8E-05	17,5E+05
8	3,5E-05	18,7E+05
9	4,2E-05	18,75E+05
*	4,8E-05	18,85E+05

Chart of Properties Row 12: Multilinear Isotropic Hardening

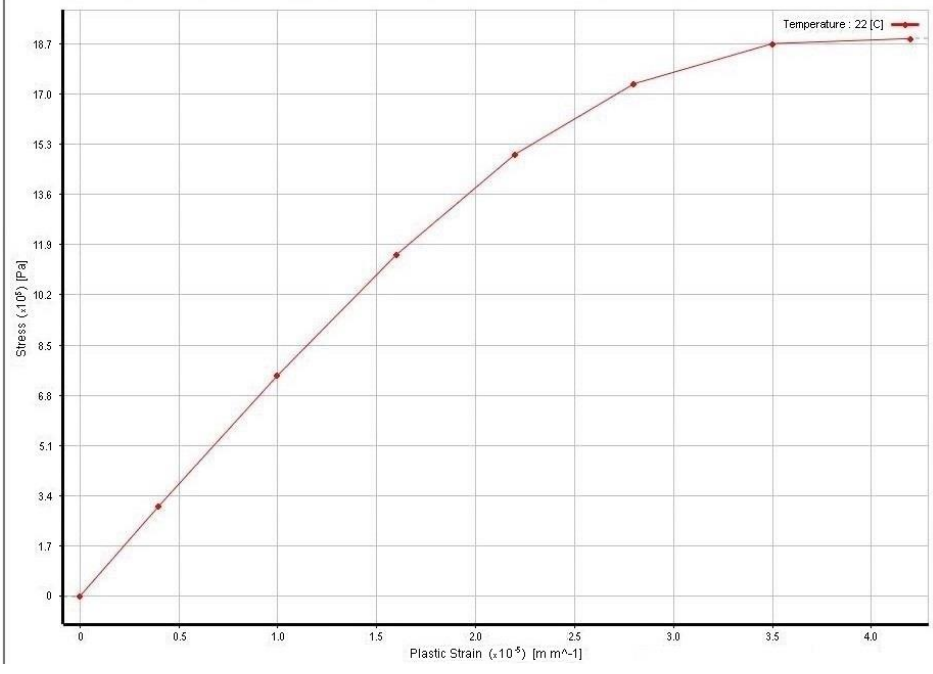


Рис. 4.26. Вікно параметризації властивостей бетону на осьовий розтяг в ПК ANSYS

Оцінка міцності з'єднання проводилась згідно IV-ій теорії міцності (теорія енергії формозмінення), тобто еквівалентні напруження визначались по th. Мізеса-Хенкі. Дана теорія найбільш адекватно описує як прості, так і складні тривимірні напружено-деформовані стани різноманітних конструкцій та з'єднань, для яких інші гіпотези не підходять. Вона стверджує, що пластичний матеріал починає пошкоджуватись (деформуватись) в місцях де напруження по Мізесу стають рівними граничному напруженню.

В загальному випадку для головних напружень σ_1, σ_2, σ_3 напруження по Мізесу виражаються наступним чином:

$$\sigma_{vonMises} = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2} \right] \times 0{,}5. \qquad (4.1)$$

Результатом обчислень є отримання розподілу головних напружень, розподілу полів щільності енергії деформації та визначення еквівалентних напружень по Мізесу в трьох шарах моделі [151].

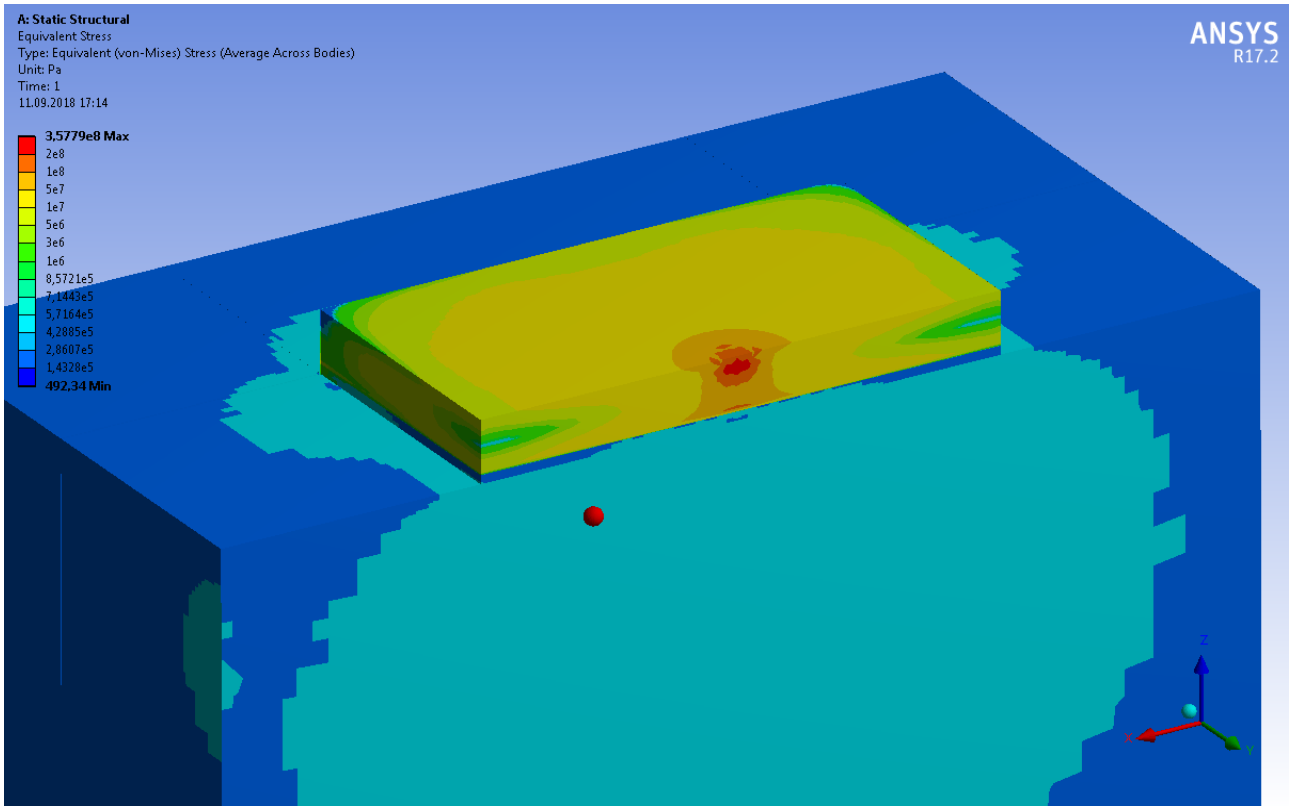


Рис. 4.27. Еквівалентні напруження по Мізесу у всіх шарах моделі

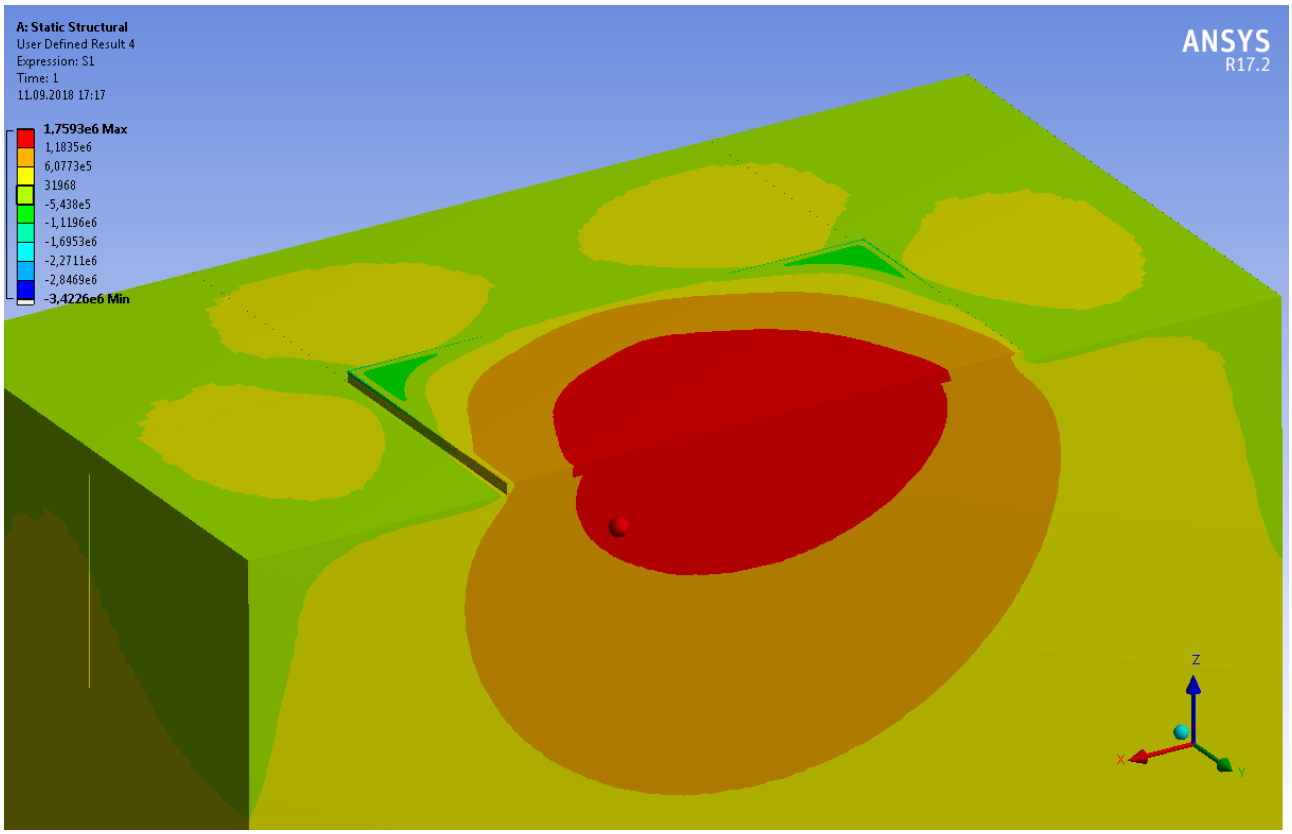


Рис. 4.28. Головні напруження розтягу σ_1 у всіх шарах з'єднання

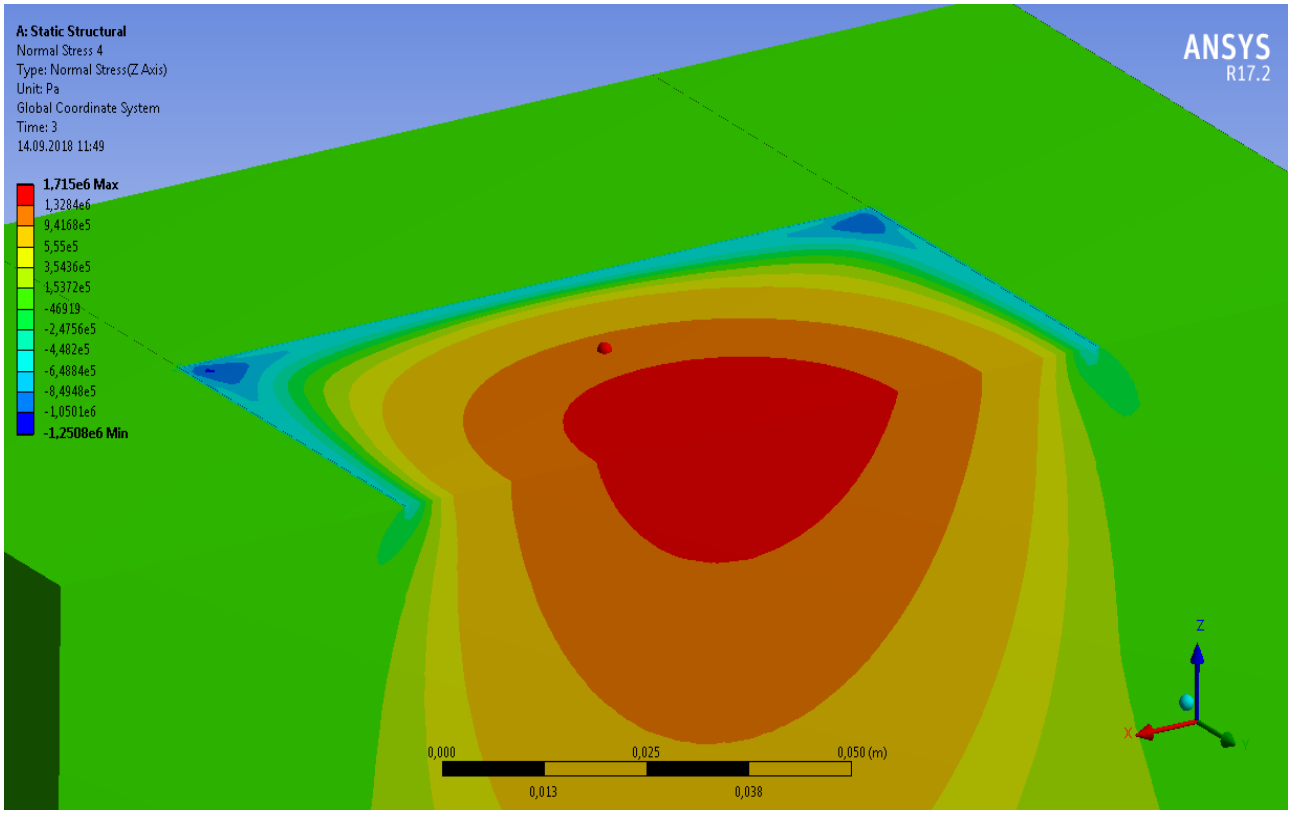


Рис. 4.29. Нормальні напруження σ_z (розтяг-стиск) в бетоні

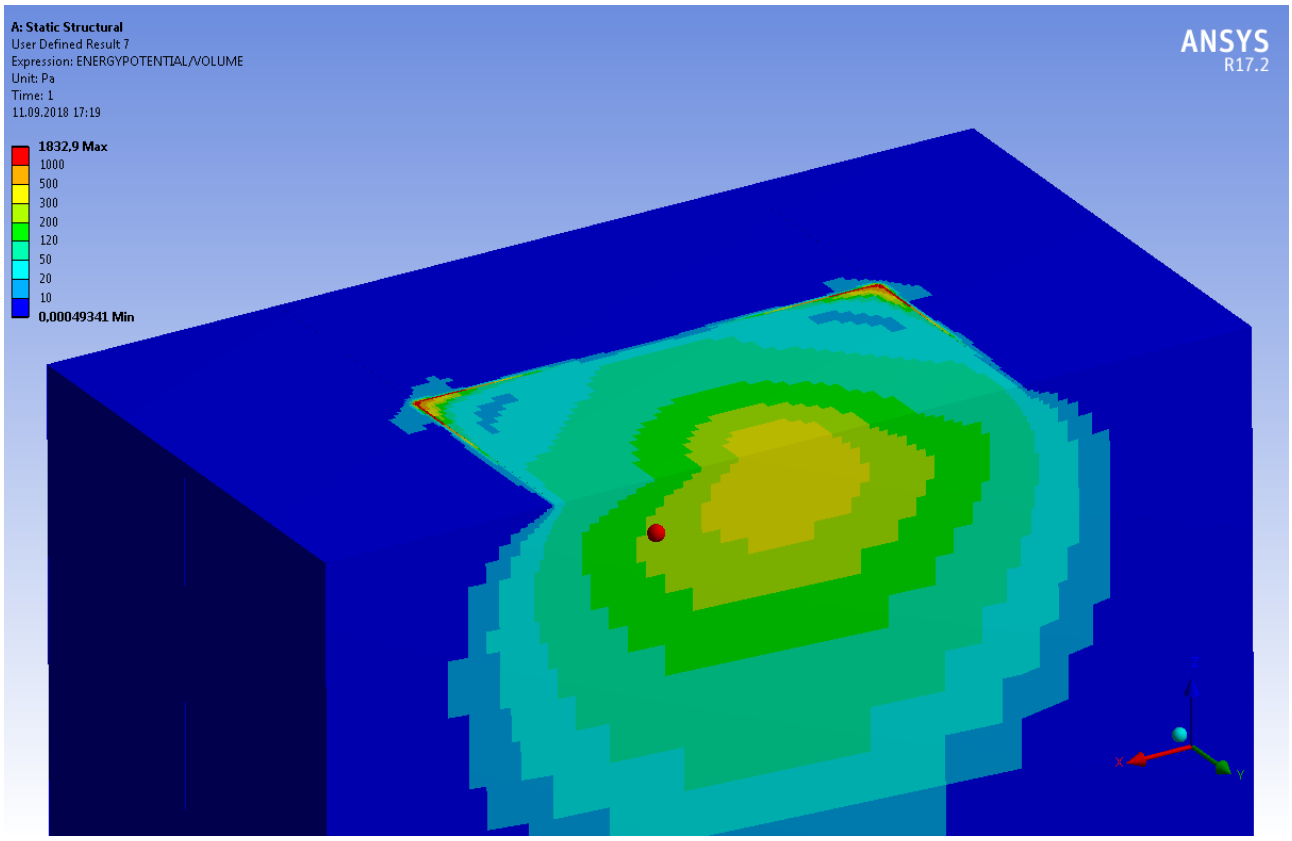


Рис. 4.30. Розподіл щільності енергії деформації в бетоні

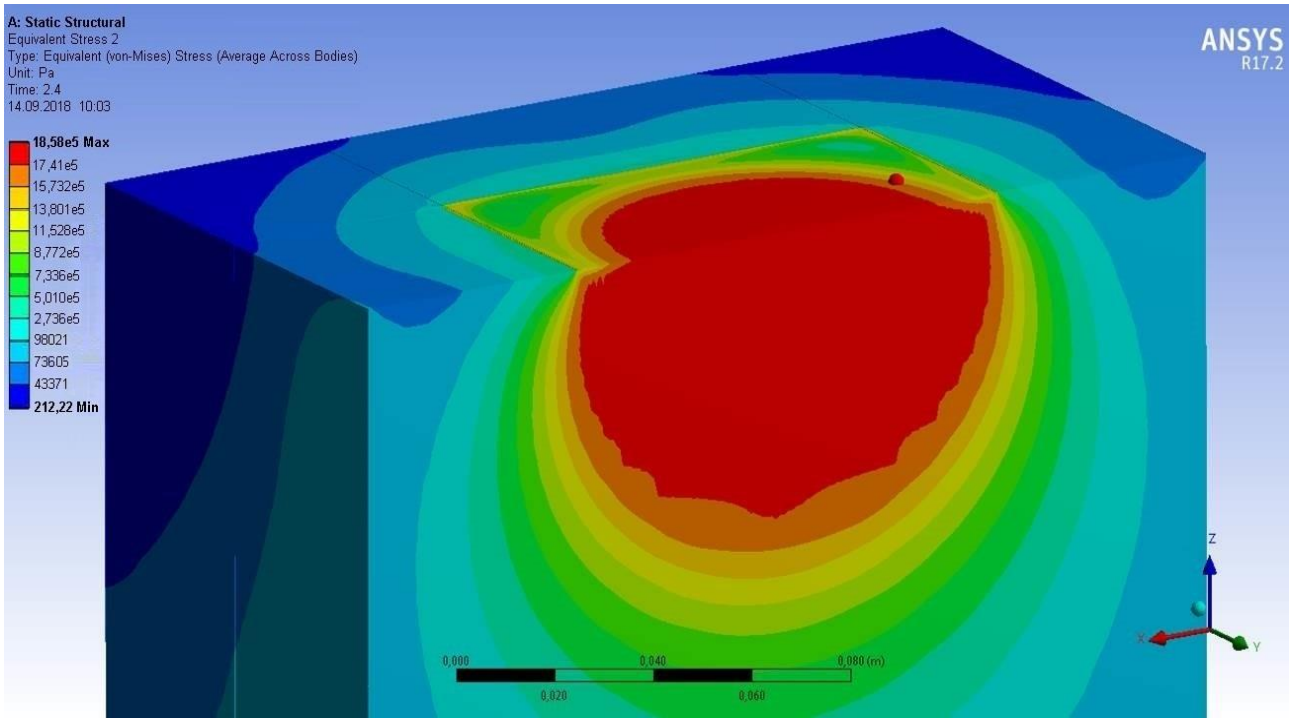


Рис. 4.31. Еквівалентні напруження в бетоні по Мізесу (докладене зусилля 22 кН)

На рис 4.31 напруження не перевищують задану границю міцності, тобто тимчасовий опір. При цьому на даному етапі докладене зусилля відриву дорівнює 22000 Н (рис. 4.32).

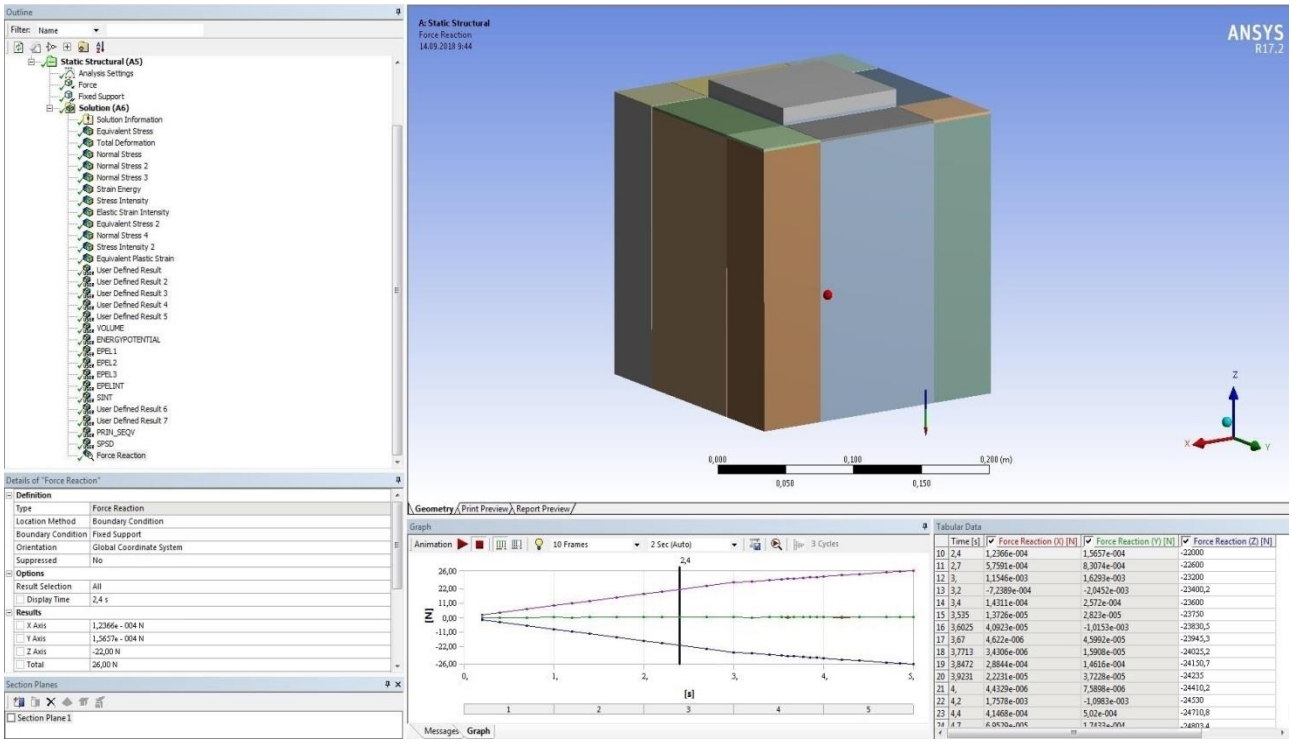


Рис. 4.32. Зусилля в з'єднанні під час докладання 22000 Н

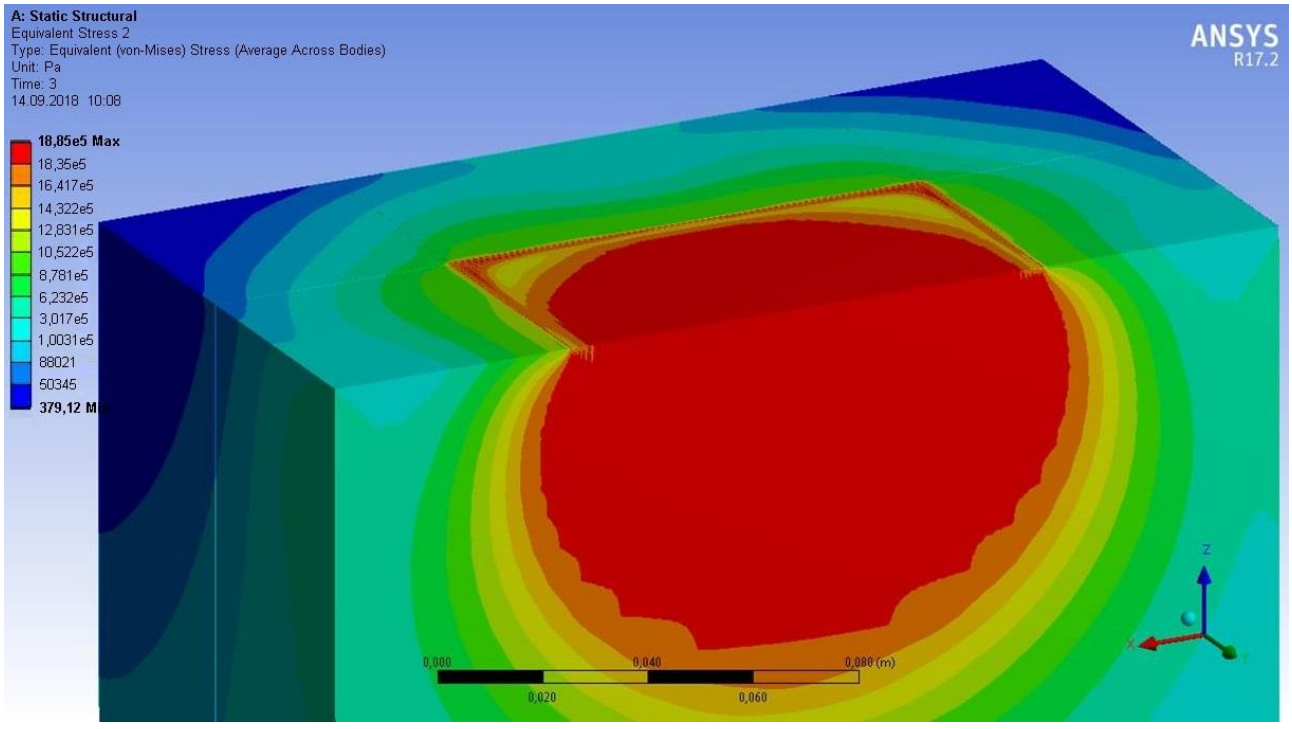


Рис. 4.33. Еквівалентні напруження в бетоні по Мізесу (докладене зусилля 25,2 кН)

Рис. 4.33 демонструє, що максимальні напруження дорівнюють границю міцності бетону, при цьому на даному етапі докладене зусилля відриву дорівнює вже 25200 Н. Це величина докладеного зусилля при якому із 95 % вірогідністю відбувається руйнування з'єднання. Зона пластичності займає майже всю поверхню контакту клей-бетон, тобто практично увесь поперечний переріз навантаженої частини бетону.

В даній задачі пластичні деформації поширюються в обсязі бетонного масиву, тому еквівалентними напруженнями не можна вважати тільки розтягуючі, як при одноосьовому чистому розтягу.

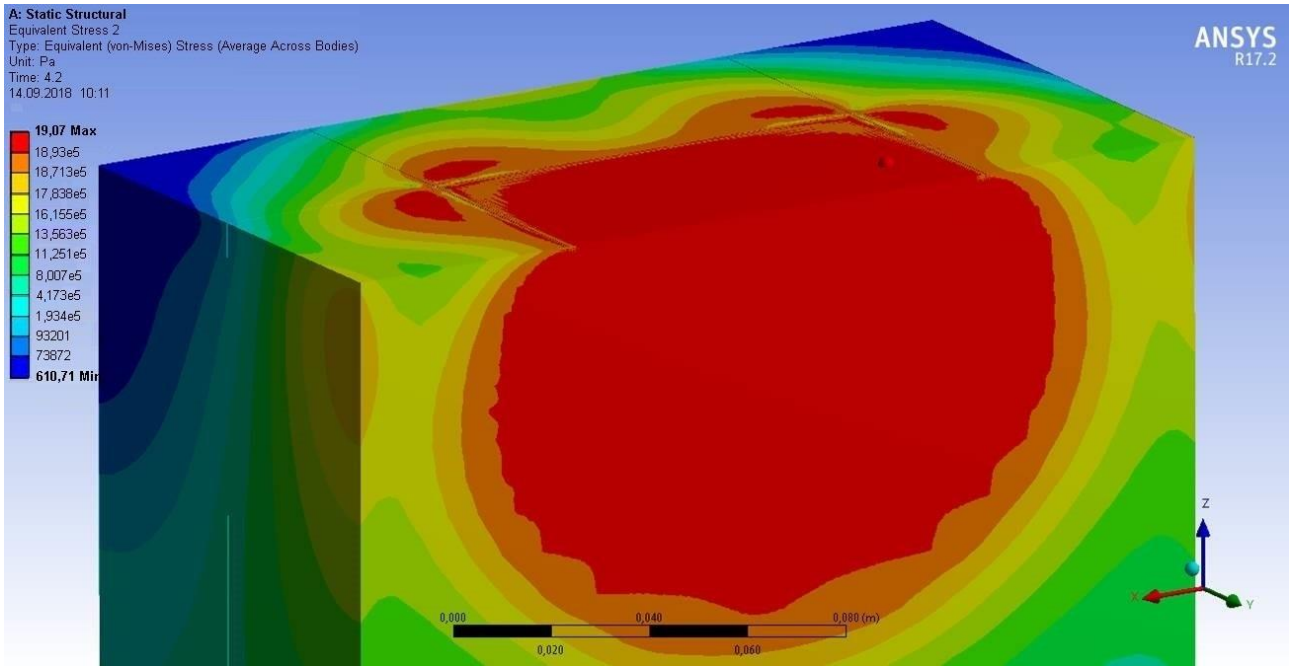
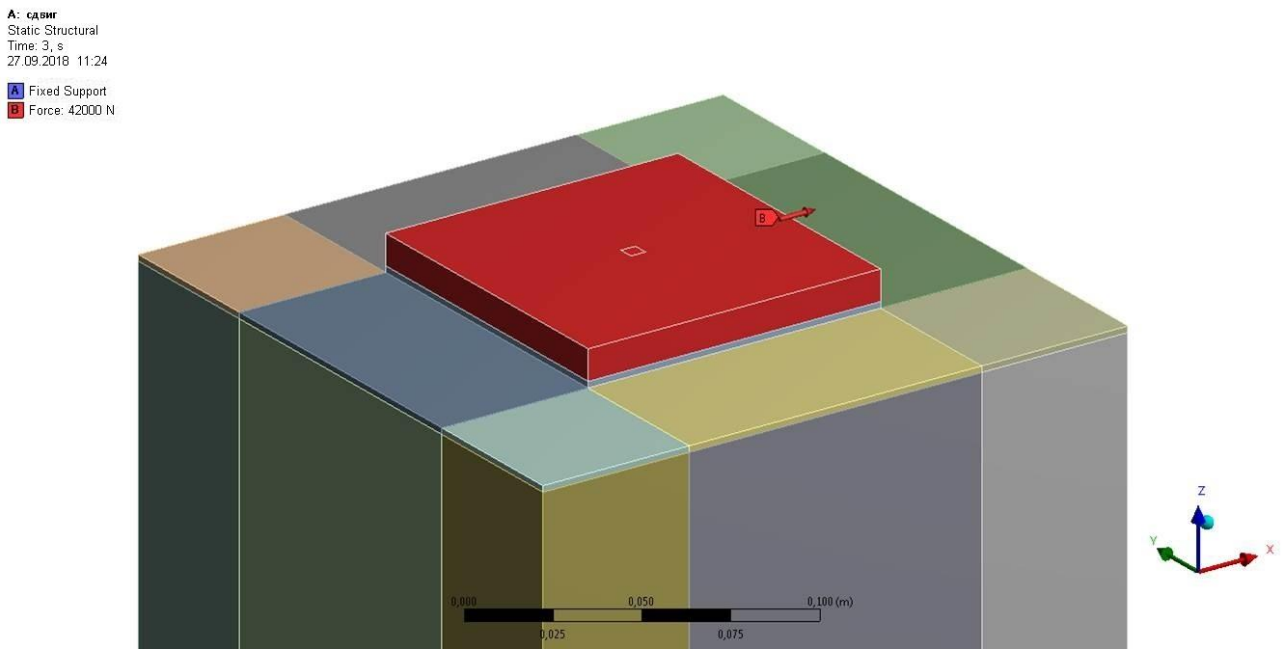


Рис. 4.34. Еквівалентні напруження в бетоні по Мізесу (докладене зусилля 26,5 кН)

Рис. 4.34 демонструє, що максимальні напруження перевищують границю міцності бетону, при цьому на даному етапі докладене зусилля відриву дорівнює вже 26500 Н. Це величина докладеного зусилля при якому однозначно відбувається повне руйнування з'єднання. Зона пластичності займає всю поверхню контакту клей-бетон - увесь поперечний переріз навантаженої частини бетону, а також починає розповсюджуватися за вказаний переріз.

Аналогічним чином було проведено моделювання дії зусиль зсуву та дії згинального моменту на клейове з'єднання сталі з бетоном (рис 4.35).

а)



б)

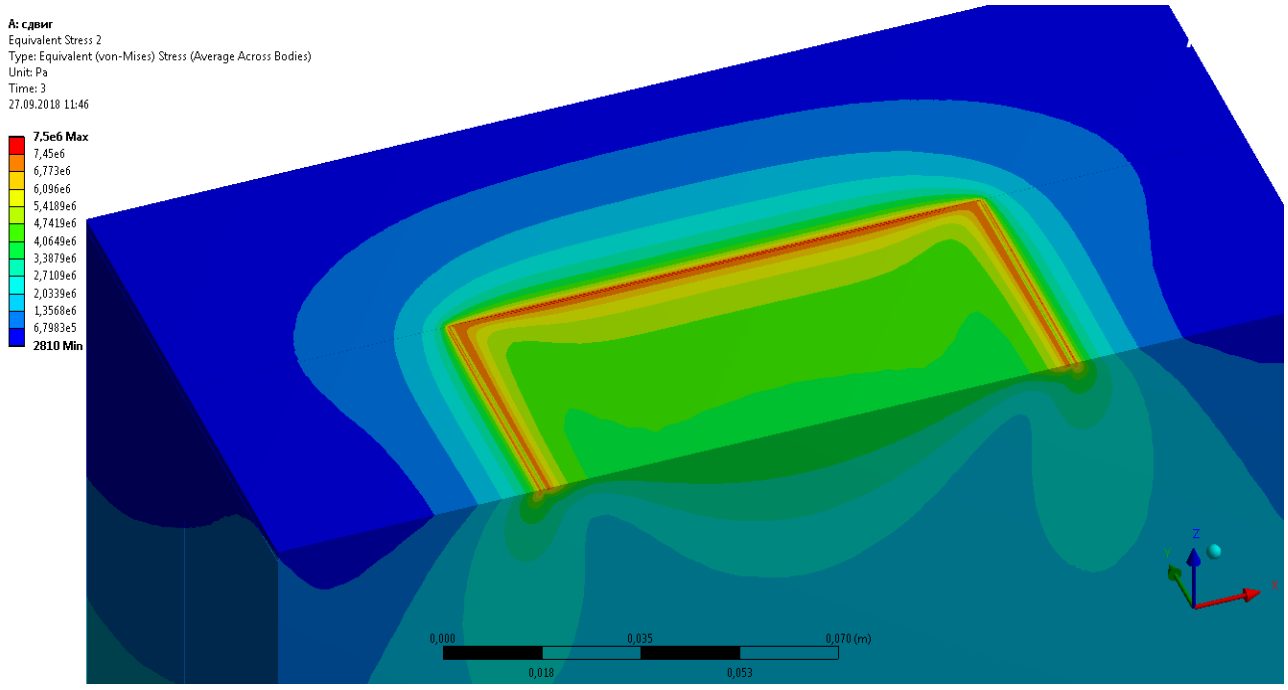


Рис. 4.35. Моделювання дії зусиль зсуву: *а* – докладання зусилля зсуву; *б* - еквівалентні напруження в бетоні по Мізесу (зусилля зсуву 42000 Н)

Як і у випадку центрально-докладеного відриву, пластичні деформації поширюються в обсязі бетонного масиву, тому еквівалентними напруженнями

не можна вважати тільки зусилля зсуву, як при плоскому чистому зсуві. При плоскому чистому зсуві сталевої пластини 100×100 мм напруження зсуву від зусилля 42000 Н дорівнювали τ = 42000/(0,1×0,1) = 4,2 МПа. Згідно IV-ої теорії міцності руйнування у випадку плоского чистого зсуву відбудеться при τ = 7,5/($\sqrt{3}$) = 4,33 МПа [152] і відповідному зусиллі 4,33×(0,1×0,1) = 43300 Н.

Порівняння теоретичних та експериментальних значень свідчить, що при пружному розрахунку зберігається характер залежності відносних деформацій від навантаження при моделюванні об'ємними скінченними елементами.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4:

Аналізуючи отримані результати чисельного моделювання клейового сталебетонного з'єднання при впливі різних видів навантаження, можна зробити наступні висновки:

1. Проведені статичні розрахунки та чисельне моделювання дали результати, що відповідають характеру руйнування дослідних зразків під час експериментальних досліджень.

2. Результати чисельного моделювання з урахуванням фізичної нелінійності деформації співпадають з проведеним статичним розрахунком на 90-95% (в залежності від виду навантаження) та підтверджують висновки про надійну роботу клейового безанкерного з'єднання сталі з бетоном при впливі різних видів навантажень.

3. Характер розподілу головних напружень і щільності енергії деформації не змінюється при впливі кожного з розглянутих навантажень.

4. Нелінійна деформаційна модель дозволяє із задовільною для практичної мети точністю визначати міцність клейових сталебетонних з'єднань, а при деякому уточненні і деформаційні характеристики.

5. Розроблена модель дозволяє виконувати розрахунок і аналіз напружено-деформованого стану клейових сталебетонних з'єднань з будь-якою вихідною геометрією кріплення та характеристиками матеріалів з'єднання.

РОЗДІЛ 5
РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ КРІПЛЕННЯ, РОЗРАХУНКУ ТА УЛАШТУВАННЮ КЛЕЙОВИХ СТАЛЕБЕТОННИХ З'ЄДНАНЬ

5.1. Конструкції кріплення промислового устаткування та комунікацій клейовим безанкерним методом

Аналіз експериментальних досліджень, які наведені у Розділі 3 даної дисертаційної роботи, говорить про високу надійність клейового сталебетонного з'єднання на акрилових модифікованих клеях. Це клейове з'єднання може бути успішно використано для безанкерного кріплення виробничого устаткування, різних типів комунікацій і технологічних ліній до бетонних/залізобетонних будівельних конструкцій.

Як було вказано у Розділі 1, існують типи конструкцій кріплення обладнання до фундаментів методом приклейки вузлів кріплення (рис. 1.11, а), або безпосередньо приклейкою сталевих опорних плечей технологічного обладнання (рис. 1.11, б). У цьому випадку на кріпильний вузол та клейове з'єднання діють центрально-докладені зусилля відриву. У разі приварювання кріпильного болта з деяким ексцентриситетом на клейове безанкерне з'єднання може впливати позацентрово-докладене зусилля відриву.

Детальний аналіз різних випадків монтажу та прокладки трубопроводів дозволяє рекомендувати два випадки їх установки на кріпильних вузлах: перший випадок – це обпирання трубопроводів на вузли кріплення (рис. 5.1), другий – підвіска (рис. 5.2).

У разі обпирання трубопроводів на вузли кріплення можуть впливати згинальний момент сумісно з силами зсуву (рис. 5.1, а), а також крутний момент сумісно з силами зсуву (рис. 5.1, б).

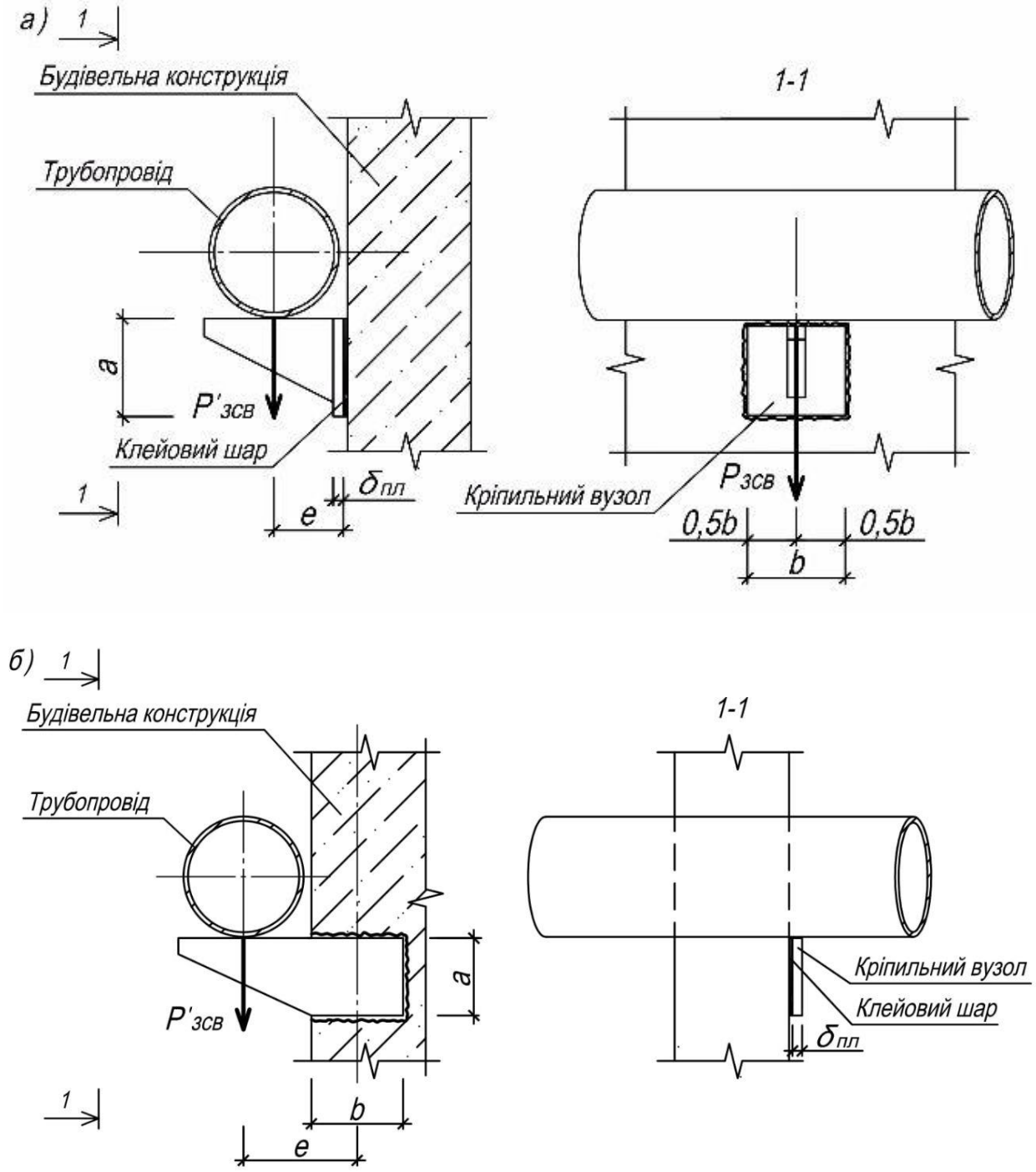


Рис. 5.1. Обпирання промислових трубопроводів на кріпильний вузол: *а* - при впливі на кріплення згинального моменту сумісно з силами зсуву; *б* - при впливі на кріплення крутного моменту сумісно з силами зсуву.

У другому випадку – на клейове кріплення можуть впливати сумісно сили відриву та зсуву (рис. 5.2, а), та/або згинального моменту сумісно з зсувом (рис. 5.2, б).

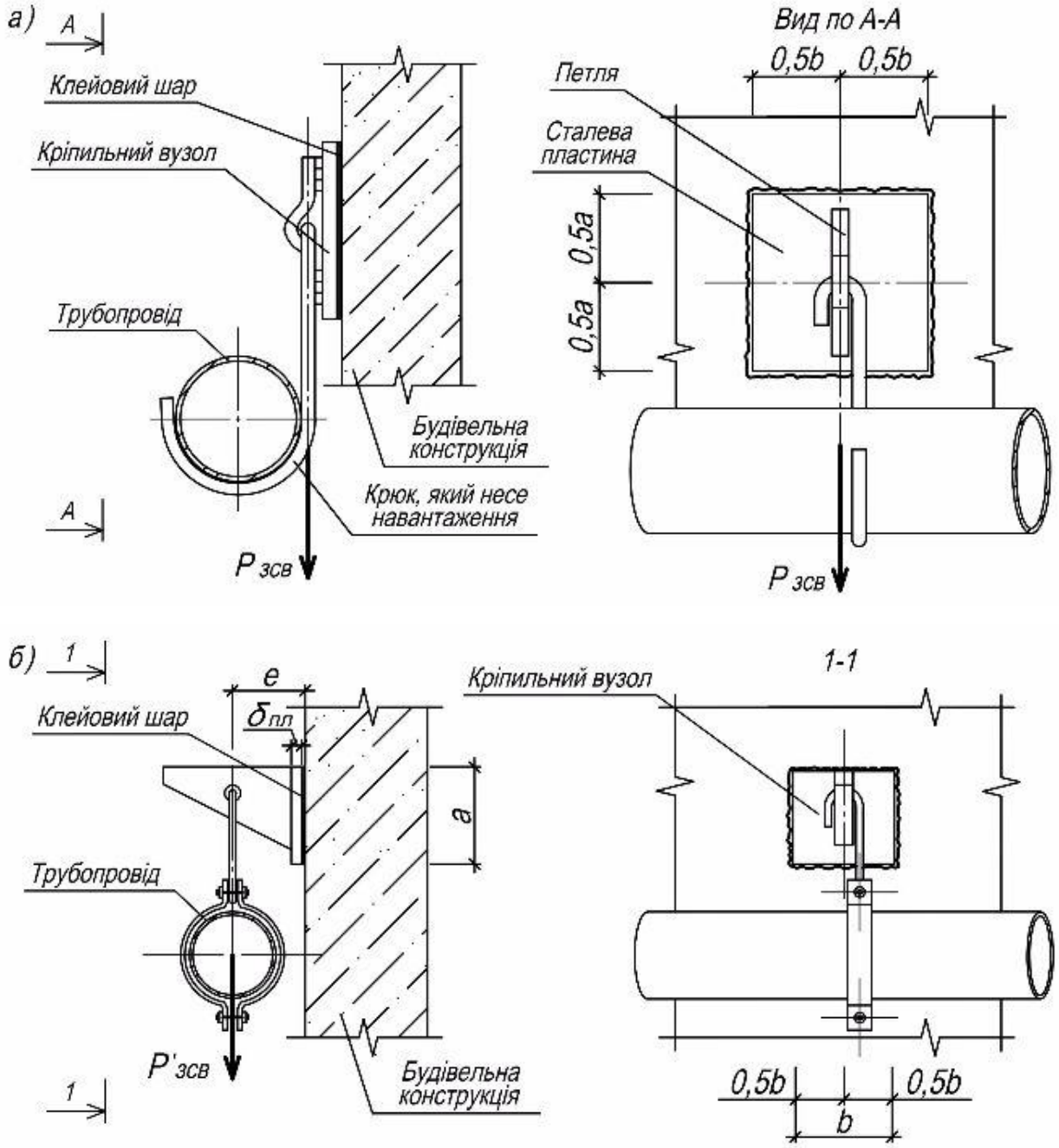


Рис. 5.2. Підвіска промислових трубопроводів на кріпильний вузол: *а* - при впливі на кріплення сил відриву та зсуву; *б* - при впливі на кріплення згинального моменту сумісно з силами зсуву.

При монтажі електрокабелів та технологічних комунікацій може бути два випадки кріплення конструкцій електрокабельної розводки: через кріпильний вузол (рис. 5.3, а), або безпосередньо приклейкою (рис. 5.3, б). У першому

випадку на вузли кріплення сумісно впливають зусилля відриву та зсуву (рис. 5.3, а), а у другому випадку – зусилля зсуву (рис. 5.3, б).

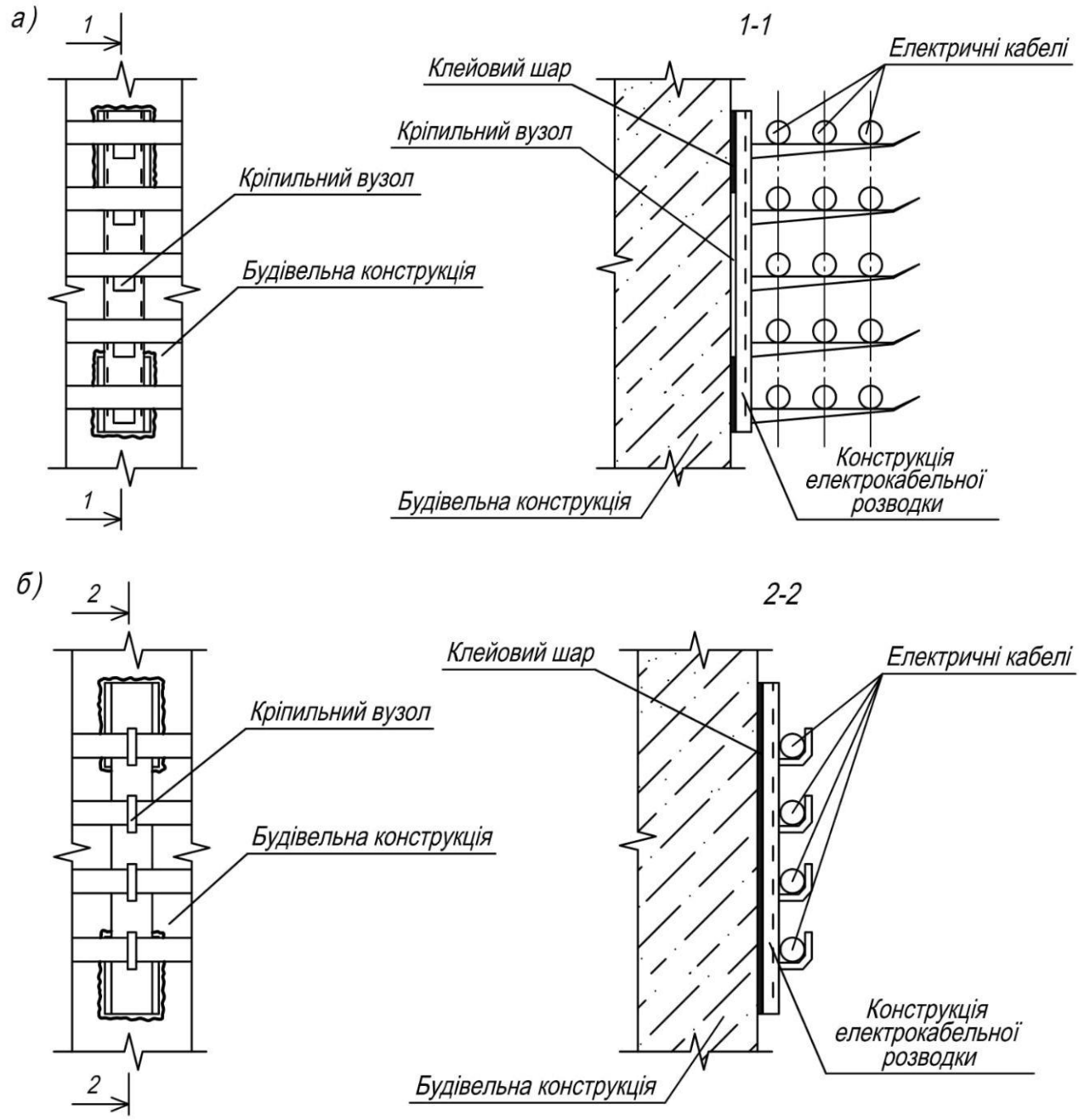


Рис. 5.3. Кріплення конструкцій електрокабельної розводки: *а* - методом поверхневої приклейки сталевих вузлів; *б* - методом безпосередньої приклейки конструкцій.

Детальний аналіз наведених конструкцій кріплення промислового устаткування та технологічних ліній методом поверхневої приклейки опорних сталевих вузлів ліній, а також зусиль, які впливають на без анкерні клейові

сталебетонні з’єднання, дозволяє скласти їх основні розрахункові схеми (рис. 5.4).

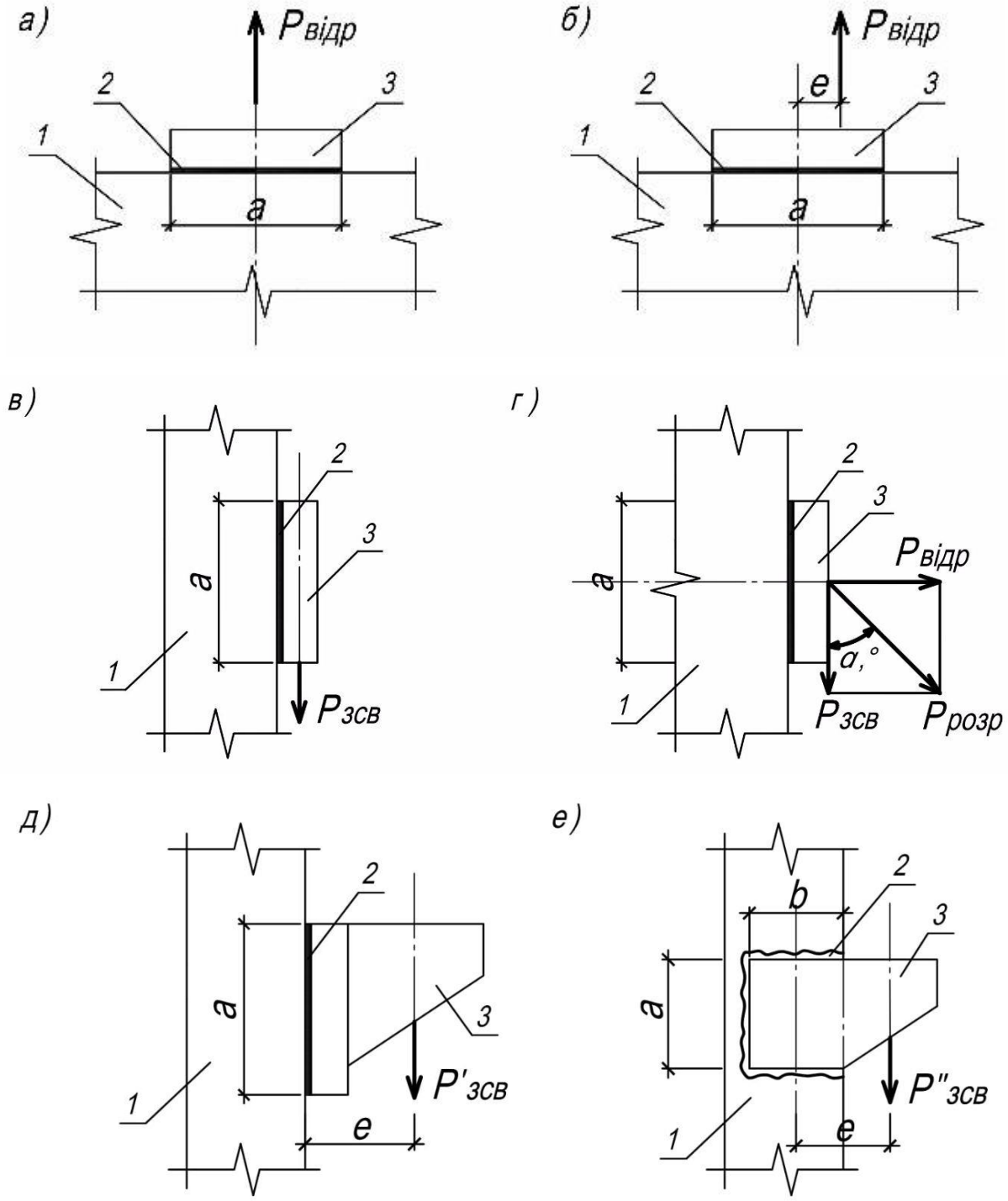


Рис. 5.4. Розрахункові схеми клейових сталебетонних безанкерних з’єднань: *а* - при впливі центрально-докладеного зусилля відриву; *б* - при впливі позацентрового зусилля відриву; *в* - при впливі зусиль зсуву; *г* - при сумісному впливі зусиль відриву та зсуву; *д* - при сумісному впливі згинального моменту та сил зсуву; *е* - при сумісному впливі крутного моменту та сил зсуву;

1 – бетонна конструкція; *2* – клейовий шов; *3* – сталевий кріпильний вузол (сталева пластина).

Використовуючи дані схеми, а також результати експериментів, був розроблений метод інженерного розрахунку клейових сталебетонних з'єднань, який наведено нижче.

5.2. Методи інженерного розрахунку клейових сталебетонних з'єднань

На підставі результатів експериментальних досліджень, які представлені у Розділі 3 даної дисертаційної роботи, був розроблений метод інженерного розрахунку безанкерних клейових сталебетонних з'єднань на акрилових модифікованих композиціях. Даний метод ґрунтується в призначенні умовної жорсткості сталевих опорних пластин, площі приклейки та перевірці міцності клейового кріплення. В цьому випадку неодмінно враховуються види руйнуючих навантажень, які діють на клейове кріплення, а саме: центрально-докладені та позацентрово-докладені зусилля відриву, зусилля зсуву, сумісна дія зусиль зсуву та відриву, сумісна дія згинального моменту та зусиль зсуву, сумісна дія крутного моменту та зусиль зсуву.

а) Розрахунок клейового безанкерного з'єднання на дію центрально-докладених зусиль відриву (рис. 5.4, а) здійснюється за формулою:

$$P_{відр} \le R^{кл}_{відр} \times F_{кл}, \tag{5.1}$$

де: $P_{відр}$ – розрахункове зусилля центрально-докладеного відриву, яке прикладається до центру вузла кріплення, або загальної площі приклейки; $F_{кл}$ – площа приклейки вузла кріплення; $R^{кл}_{відр}$ – опір безанкерного клейового кріплення при центрально-докладеному зусиллі відриву, що визначається за розрахунком:

$$R^{кл}_{відр} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 \times f_{ctd}, \tag{5.2}$$

де: f_{ctd} – розрахункове значення міцності бетону на розтяг згідно ДБН В.2.6-98:2009, МПа; k_1 – коефіцієнт впливу умовної жорсткості опорної пластини вузла кріплення (відношення товщини сталевої пластини до розміру її більшої сторони) на міцність клейового кріплення (табл. 5.1);

Таблиця 5.1

Умовна жорсткість пластин, Δ	0,06	0,10	0,125	0,188	0,225	0,25	0,30
k_1	0,40	0,61	0,72	0,86	0,93	0,96	0,99

k_2 – коефіцієнт впливу масштабного параметру площі приклейки (табл. 5.2):

Таблиця 5.2

Площа приклейки, см^2	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
k_2	1,0	0,85	0,73	0,65	0,60	0,53	0,50	0,47	0,44	0,43

k_3 – коефіцієнт відстані кріплення сталевого елементу з'єднання від обрізу будівельної конструкції, який характеризується показником відношення $F_б$ / $F_{пр}$ ($F_б$ – загальна площа бетонного виробу, до якого приклеюється сталевий елемент з'єднання; $F_{пр}$ – площа зони склеювання), визначається за формулою:

$$k_3 = \sqrt[3]{\frac{F_б}{F_{пр}}} \le 2{,}5; \qquad (5.3)$$

k_4 – коефіцієнт впливу сторони бетонування конструкції на міцність клейового сталебетонного з'єднання (k_4 = 1,0 – у випадку приклейки на бетонну поверхню конструкції, яка представляє верх бетонування, k_4 = 1,3 – у випадку приклейки на бетонну поверхню, яка представляє низ бетонування); k_5 – коефіцієнт терміну служби клейового з'єднання.

Таблиця 5.3

Термін служби, роки	0,5	1	2	5	10	20	30	40	50
k_5	1,16	1,14	1,13	1,08	1,05	1,03	1,017	1,008	1,0

б) Розрахунок клейового безанкерного з'єднання на дію позацентрово-докладених зусиль відриву (рис. 5.4, б) здійснюється за формулою:

$$P_{н.відр} \le P_{відр} \times k_6, \tag{5.4}$$

де: $P_{н.відр}$ – розрахункове зусилля, яке прикладається позацентрово (із ексцентриситетом) до вузла кріплення; $P_{відр}$ – розрахункове зусилля, яке визначається за формулою (5.1); k_6 – коефіцієнт впливу позацентрового докладання сили на міцність клейового сталебетонного з'єднання (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Величина ексцентриситету	0	0,1a*	0,2a*	0,3a*	0,4a*	0,5a*
k_6	1,00	0,81	0,63	0,49	0,38	0,32

Примітка: * - величина a являє собою розмір металевої пластини вузла кріплення.

в) Розрахунок клейового безанкерного з'єднання на зсув (рис. 5.4, в) здійснюється за формулою:

$$P_{зсв} \le R_{зсв}^{кл} \times F_{кл}, \tag{5.5}$$

де: $P_{зсв}$ – розрахункове зусилля зсуву, яке докладається до центральної осі вузла кріплення; $R_{зсв}^{кл}$ – розрахунковий опір клейового сталебетонного з'єднання зсуву.

Розрахунковий опір безанкерного клейового сталебетонного з'єднання зсуву визначається за формулою:

$$R_{зсв}^{кл} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 \times 2 f_{ctd}, \tag{5.6}$$

де: значення коефіцієнтів k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 визначаються згідно табл. 5.1, 5.2 та 5.3 відповідно.

г) Розрахунок клейового безанкерного з'єднання на сумісну дію зусиль відриву та зсуву (рис. 5.4, г) здійснюється за формулою:

$$\left\{\frac{P \times \cos\alpha \le P_{відр}}{P \times \sin\alpha \le P_{зсв}}\right\}, \tag{5.7}$$

де: P – розрахункове зусилля, яке докладається під кутом $\alpha°$ до центральної осі вузла кріплення; $P_{відр}$ – розрахункове зусилля центрально-докладеного відриву (24); $P_{зсв}$ - розрахункове зусилля зсуву (28).

д) Розрахунок клейового безанкерного з'єднання на сумісну дію згинального моменту та зусиль зсуву (рис. 5.4, д) здійснюється за формулою:

$$P'_{зсв} \le k_7 \times P_{зсв}, \tag{5.8}$$

де: $P'_{зсв}$ – розрахункове зусилля зсуву, яке докладається із ексцентриситетом до вузла кріплення; $P_{зсв}$ – розрахункове зусилля зсуву, яке визначається за формулою (5.5); k_7 – коефіцієнт впливу позацентрового докладання зусилля зсуву на міцність клейового сталебетонного з'єднання (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Величина плеча докладання зусилля зсуву	0	0,2a	0,4a	0,6a	0,8a	1,0a
k_7	1,00	0,53	0,27	0,17	0,12	0,10

е) Розрахунок клейового безанкерного з'єднання на сумісну дію крутного моменту та зусиль зсуву (рис. 5.4 е) здійснюється за формулою:

$$P''_{зсв} \le k_8 \times P_{зсв}, \tag{5.9}$$

де: $P''_{зсв}$ – розрахункове зусилля кручення, яке докладається до вузла кріплення; $P_{зсв}$ - розрахункове зусилля зсуву, яке визначається за формулою (5.5);

коефіцієнт величини плеча докладання крутного зусилля до вузла кріплення (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Розмір плеча, l	0	0,3a	0,6a	0,9a	1,2a	1,5a	1,8a	2,1a	2,4a	2,7a	3,0a
k_8	1,0	0,87	0,76	0,66	0,57	0,48	0,40	0,32	0,25	0,19	0,14

При розрахунку безанкерного клейового сталебетонного з'єднання на витривалість, при дії центрально-докладених зусиль відриву, розрахунковий опір R_z визначається за формулою:

$$R_z = R_{відр}^{кл} \times \varepsilon_b, \tag{5.10}$$

де: $R_{відр}^{кл}$ – опір безанкерного клейового кріплення при центрально-докладеному зусиллі відриву, який визначається за формулою (5.1); ε_b – коефіцієнт, який залежить від асиметрії циклу повторюваних напружень в бетоні ρ_b та приймається згідно із табл. 3.9 ДБН В.2.3-14:2006 "Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування" [132].

5.3. Приклади інженерних розрахунків клейових сталебетонних з'єднань

Приклад 1. Розрахувати кріпильний вузол на дію центрально-докладеного зусилля відриву. Технологічне обладнання кріпиться в чотирьох точках на існуючому фундаменті, який виготовлений із бетону класу С12/15. На кожну точку закріплення діє сила відриву $P_{відр}$ = 8,5 кН. Кріпильні вузли прийняті у вигляді сталевих пластин розміром 150×150 мм із привареними в тавр болтами d = 16 мм. Товщина сталевої пластини $\delta_{пл}$ = 10 мм. Інженерне технологічне устаткування проектується до безперервного використання на термін у 20 років.

Отже, розрахунок клейового з'єднання здійснюється за формулою (5.1).

Для прийнятої сталевої пластини умовна жорсткість становить $\Delta = \frac{\delta_{пл}}{a} = 0{,}0625 \approx 0{,}06$, тоді $k_1 = 0{,}4$. Для площі приклейки, яка дорівнює $F_{пр}$ = 225 см^2 – $k_2 = 0{,}82$ (табл. 5.2).

Значення коефіцієнта k_3 визначається за формулою (5.3). При цьому площа ділянки бетону $F_б$ у зоні приклейки, яка припадає на один кріпильний вузол, становить 900 см^2. Тоді:

$$k = \sqrt[3]{\frac{F_б}{F_{кл}}} = \sqrt[3]{\frac{900}{225}} = 1{,}59.$$

Значення коефіцієнта k_4 приймаємо рівним 1,0, тому що бетонна поверхня фундаменту представляє верх бетонування.

Значення коефіцієнта k_5 приймаємо рівним 1,03 (згідно табл. 5.3).

У відповідності із ДБН В.2.6-98:2009 "Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення" [131] та EN (Єврокод 2) [153] для бетону класу С12/15 f_{ctd} = 0,73 МПа ≈ 7,44 кГс/см^2. Отже:

$$R^{кл}_{відр} = 0{,}4 \times 0{,}82 \times 1{,}0 \times 1{,}59 \times 1{,}03 \times 7{,}44 = 3{,}99 \frac{кгс}{см^2} = 0{,}391 \text{ МПа}.$$

Тоді:

$$P_{відр} = 3{,}99 \times 225 = 897{,}75 \text{ кГс} \approx 8{,}97 \text{ кН} > 8{,}5 \text{ кН}.$$

Таким чином, діюча в точках закріплення сила відриву безаварійно сприймається клейовим сталебетонним з'єднанням.

Приклад 2. Розрахувати кріпильний вузол на дію позацентрово-докладених зусиль відриву, якщо $P_{н.відр}$ = 8,0 кН докладене з ексцентриситетом $e = 0{,}3a$. Решта умов відповідають даним в Прикладі 1.

Для заданого ексцентриситету $e = 0{,}3a$ коефіцієнт $k_6 = 0{,}49$ (згідно табл. 5.4). Виконуємо розрахунок за формулою (5.4):

$$P_{н.відр} \le 9{,}13 \times 0{,}49 = 4{,}47 \text{ кН} < 8{,}0 \text{ кН}.$$

Сприйняття докладеної до кріпильного вузла сили $P_{н.відр}$ = 8,0 кН не забезпечується. Тому потрібно збільшити розміри пластини (в даному випадку

її товщину) до $\delta_{пл}$ = 24 мм, умовна жорсткість пластини Δ = 0,16 та коефіцієнт k_1 дорівнює 0,81. Тоді:

$$R_{відр}^{кл} = 0{,}81 \times 0{,}82 \times 1{,}0 \times 1{,}59 \times 1{,}03 \times 7{,}44 = 8{,}09 \frac{кГс}{см^2} = 0{,}79 \text{ МПа}.$$

Отже:

$$P_{відр} = 8{,}09 \times 225 = 1820 \text{ кГс} \approx 17{,}85 \text{ кН}.$$

Тому:

$P_{н.відр} = 17{,}85 \times 0{,}49 = 8{,}74$ кН > 8,0 кН – умова міцності виконана.

Приклад 3. Перевірити міцність безанкерного клейового сталебетонного з'єднання, якщо на кріпильний вузол діє сила зсуву $P_{зсв}$ = 3,0 кН, яка докладена із ексцентриситетом e = 0,6a. Кріпильний вузол представляє собою пластину розміром 100×200 мм і товщиною $\delta_{пл}$ = 18 мм. Пластина приклеєна на вертикальну поверхню технологічного тунелю, який виконано із бетону класу С16/20. Поверхня бетону представляє собою низ бетонування.

Для прийнятої пластини умовна жорсткість дорівнює Δ = 0,099. Визначаємо значення коефіцієнтів (див. вище): k_1 = 0,57; k_2 = 0,85 – для площі приклеювання $F_{пр}$ = 200 см^2.

Розрахунковий опір бетону на розтяг f_{ctd} = 0,9 МПа, коефіцієнт k_4 = 1,3. Тоді за формулою (5.5):

$$P_{зсв} = 0{,}57 \times 0{,}85 \times 1{,}3 \times 2 \times 9{,}18 \times 200 = 2134 \text{ кГс} = 20{,}93 \text{ кН}.$$

Далі визначаємо силу $P'_{зсв}$ за формулою (5.8) при ексцентриситеті e = 0,6a та коефіцієнті k_6 = 0,17:

$P'_{зсв} = 0{,}17 \times 20{,}93 = 3{,}56$ кН > 3,0 кН – умова міцності забезпечена.

Приклад 4. Перевірити міцність клейового сталебетонного з'єднання, коли до кріпильного вузла докладене зусилля кручення $P_{кр} = P'_{зсв}$ = 13 кН із плечем l = 0,6a. Решта умов відповідають даним в Прикладі 3.

Для l = 0,6a визначаємо коефіцієнт k_8 = 0,76 (табл. 5.6).

Тоді за формулою (5.9): $P'_{зсв} = 0{,}76 \times 20{,}93 = 15{,}9$

$P'_{зсв} = 0{,}76 \times 20{,}93 = 15{,}9$ кН > 13 кН – умова міцності забезпечена.

Для проектування вузлів кріплення рекомендується приймати площу приклейки не більше ніж 1000 см^2. В разі конструктивного монтажу виробничого обладнання, виходячи з діаметру використовуваних анкерних болтів, рекомендується приймати наступну площу приклейки вузлів (табл. 5.7).

Таблиця 5.7

Діаметр болта, мм	12	14	16	18	20	22	24
Площа приклейки, $F_{пр}$, см^2	150	200	270	340	420	510	620

З метою улаштування кріплення інженерного обладнання до бетонних/залізобетонних підлог та елементів перекриття застосовують вузли, що складаються із сталевої опорної пластини прямокутної або квадратної конфігурації, до якої приварюється в тавр сталевий стрижень із метричною різьбою для загвинчування гайки у верхній частині. Товщину сталевої опорної пластини призначають враховуючи її умовну жорсткість, діаметр привареного стрижня (болта) та міцності клейового сталебетонного з'єднання. Даний показник має задовольняти умові $\delta \geq 0{,}75d_б$. Загальна довжина стрижня (болта) визначається виходячи з товщини сталевої пластини в частині безпосереднього обпирання обладнання, що закріплюється, та висоти підливки розчину.

Для кріплення трубопроводів і різних технологічних комунікацій до бетонних/залізобетонних виробів та конструкцій використовують вузли кріплення, які представляють собою опорну сталеву пластину (рис. 5.1, а), пластину з петлею (рис. 5.2, а), або кронштейн (рис. 5.1, а; 5.2, б). В даних умовах технологічні комунікації закріплюють безпосередньо обпиранням або підвішуванням до самих вузлів.

Для улаштування зазначених кріпильних клейових вузлів рекомендується застосовувати опорні сталеві пластини прямокутної конфігурації. При цьому довша сторона опорної пластини має бути розташована уздовж дії зусиль, які докладаються до вузла. Водночас товщина сталевої пластини $\delta_{пл}$ визначається

виходячи з товщини кронштейна або діаметру приварених петель та перевіряється розрахунком.

Для проектування і улаштування безанкерних клейових вузлів потрібно додержуватися нормативів та вимог ДБН В.2.6-98:2009 “Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення” [131] та EN (Єврокод 2) [153], ДСТУ Б В.2.6-2:2009 “Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови” [154], ДСТУ Б В.2.6-156:2010 “Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування” [155], ДСТУ Б В.2.6-156:2010 “Арматурні та закладні вироби зварні, з’єднання зварні арматури та закладних деталей виробів залізобетонних конструкцій” [156], НПАОП 28.52-1.31-13 “Правила охорони праці під час зварювання металів” [157].

5.4. Рекомендації з улаштування клейових сталебетонних безанкерних з’єднань

Як було вказано вище безанкерне клейове кріплення промислового устаткування та технологічних ліній базується на з’єднанні бетону зі сталлю акриловими модифікованими клейовими композиціями. Кріплення даним методом здійснюється приклейкою кріпильних вузлів (рис. 1.11, а) та/або безпосередньо опорних частин виробничого устаткування (рис. 1.11, б), а технологічних комунікацій – приклейкою кріпильних вузлів (рис. 5.1, 5.2, 5.3) до поверхні бетону. В процесі приклеювання необхідно дотримуватися наступних основних технологічних умов:

а) температура навколишнього середовища має бути не нижче 0°С;

б) в зоні безпосереднього виконання робіт мають знаходитися компоненти акрилового клею та всі необхідні інструменти і кріпильні вузли;

в) до початку виконання робіт повинно бути проведено контрольне визначення міцності (класу) бетону та випробування зразків клею на міцність.

г) також до початку виконання робіт треба визначити величину та вид навантаження на всю конструкцію, зокрема на клейове з’єднання.

5.4.1. Підготовка бетонних поверхонь конструкцій до склеювання

Поверхню бетону очищають від цементної плівкии та частково знімають з неї верхній шар (2-3 мм) до появи видимих вкраплень крупного заповнювача з подальшим ретельним видаленням пилу. Цю роботу можна виконувати механічним, термічним або хімічним шляхом. При цьому потрібно враховувати вплив способу очищення поверхні бетону на міцність клейового з’єднання.

Ручне механічне очищення поверхні бетону виконують за допомогою твердосплавної бучарди. У якості механізованого інструменту застосовують шліфувальні машини, які обладнані абразивним диском, а також пневматичні молоти, які оснащені бучардою.

Термічне очищення може здійснюватися паяльною лампою або іншим подібним інструментом. У цьому випадку ділянку поверхні бетону, яку очищують, прогрівають при максимальному режимі роботи паяльної лампи до появи спеченої структури поверхневої плівки. Потім проводять видалення цих овідходів. Хімічне очищення може проводитися 30%-ним розчином соляної кислоти, для чого ділянка поверхні бетону, яку очищують, обробляється кислотою до повного насичення поверхневого шару. Після закінчення реакції зі знищення поверхневого шару бетону ділянку приклейки промивають водою.

Поверхня сталевих кріпильних вузлів та опорних частин не повинна мати слідів корозії і масляних включень. Підготовка поверхні складається з попередньої механічної та остаточної хімічної обробки. Попередню механічну обробку кріпильних вузлів виконують з метою видалення видаленні пилу, консервуючих покрить у вигляді жирового змащень та інших забруднень. Очищення здійснюють щітками, шкребками, наждаковим папером і т.п. При наявності на поверхні кородованих ділянок їх механічно видаляють за допомогою шліфувальних машин. За необхідністю остаточну (хімічну) обробку

металевих кріпильних конструкцій можливо виконати в 20%-ному розчині соляної кислоти, в який додають 1% (за обсягом розчину) уротропіну.

Для опорних частин обладнання, які виготовлені з чавуну, механічне очищення обов'язково у всіх випадках (з метою видалення поверхневої графітової кашки).

Приготування і компаундування акрилового клею різних складів достатньо детально описано в наукових роботах [59, 60, 76, 98, 99, 100].

5.4.2. Склеювання на горизонтальних бетонних поверхнях

Приклейка вузлів кріплення та/або опорних частин виробничого обладнання може здійснюватися за одною з трьох технологічних схем (рис. 5.5-5.7):

Перша схема - приклеювання акриловими модифікованими клеями вузлів кріплення після монтажу інженерного устаткування.

Друга схема - приклейка вузлів кріплення до монтажу інженерного устаткування;

Третя схема - приклейка опорних частин обладнання в процесі монтажу інженерного устаткування.

Згідно з першою схемою (рис. 5.5) технологічний процес складається з наступних операцій:

- робітники зачищають бетонну поверхню;

- на опорні частини інженерного устаткування попередньо навішують кріпильні вузли, пропускаючи стрижні – болти через отвори в плитовинах і загвинчуючи на болти гайки;

- інженерне устаткування встановлюють в проектне положення на інвентарні підкладки і вивіряють;

- на попередньо розмічені та очищені ділянки бетонної поверхні фундаменту (конструкцій) наносять шар клею товщиною 5-10 мм;

- кріпильні вузли опускають до зіткнення з клейовим шаром і притискають до появи його надлишків;

- далі встановлюють підкладки, які спираються на кріпильні вузли, після чого видаляють інвентарні підкладки.

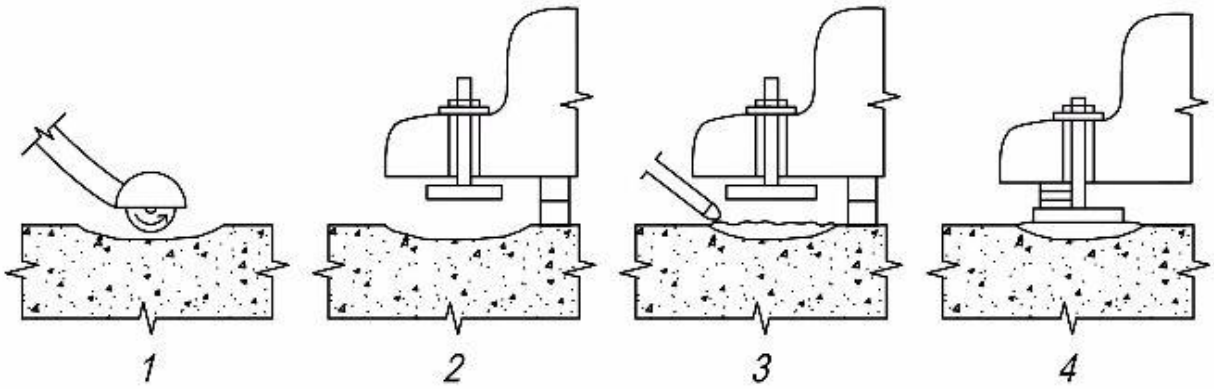


Рис. 5.5. Схема приклейки вузлів кріплення після монтажу виробничого обладнання: *1* - зачистка бетонної поверхні; *2* - установка і вивірка обладнання на інвентарних підкладках; *3* - нанесення клею і приклейка кріпильних вузлів; *4* - видалення інвентарних підкладок і установка підкладок-фіксаторів.

Згідно з другою схемою (рис. 5.6) технологічний процес складається з наступних операцій:

- на попередньо розмічені та очищені ділянки бетонної поверхні фундаменту (конструкцій) наносять шар клею товщиною 5-10 мм;

- кріпильні вузли встановлюють в проектне положення, після чого легко притискають їх до появия по периметру надлишків клею;

- робітники встановлюють інженерне устаткування на підкладки, які спираються на кріпильні вузли, після чого вивіряють і закріплюють.

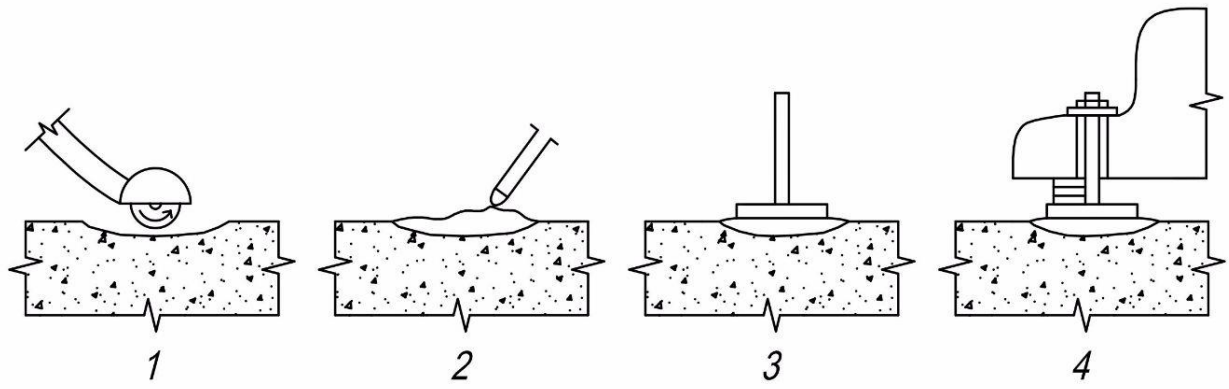


Рис. 5.6. Схема приклейки вузлів кріплення до монтажу виробничого обладнання: *1* - зачистка бетонної поверхні; *2* - нанесення клею; *3* - приклейка кріпильного вузла; *4* - установка і вивірка обладнання на інвентарних підкладках-фіксаторах.

Відповідно до третьої схеми (рис. 5.7) технологічний процес складається з наступних операцій:

- на попередньо розмічені і очищені ділянки бетонної поверхні фундаменту (конструкцій) укладають підкладки-фіксатори, які забезпечують допустимі межі висоти клейового шва та необхідну точність установки інженерного устаткування в горизонтальній площині (рекомендується попередня заготовка підкладок-фіксаторів розміром 30×100 мм з листової сталі висотою 0,3; 0,5 та 1 мм);

- робітники наносять клей і встановлюють інженерне устаткування в проектне положення (у всіх випадках товщина клею, що наноситься на поверхню, повинна перевищувати висоту підкладок-фіксаторів).

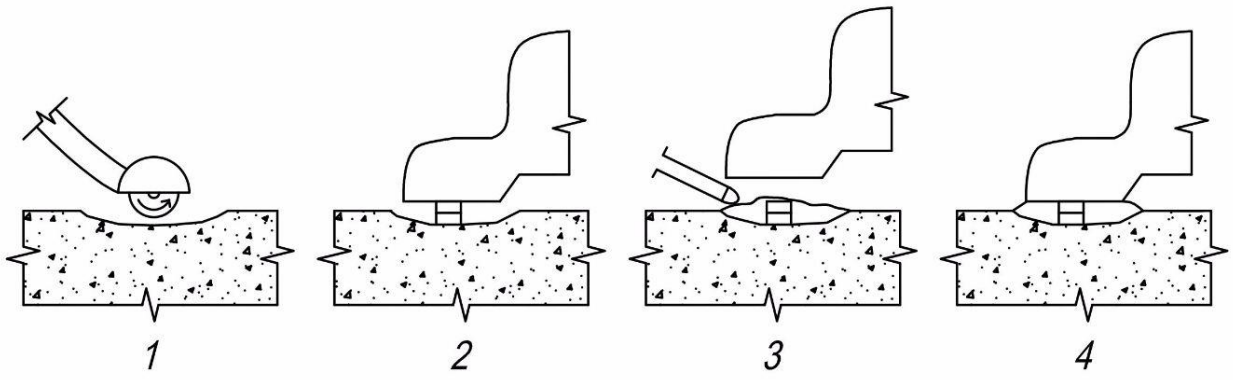


Рис. 5.7. Схема приклейки опорних частин виробничого обладнання до бетонної поверхні: *1* - зачистка бетонної поверхні; *2* - установка і попередня вивірка обладнання на підкладках-фіксаторах; *3* - нанесення клею на бетонну поверхню; *4* - приклейка виробничого обладнання.

Протягом часу затвердіння акрилового модифікованого клею після приклеювання необхідно забезпечити геометричну незмінність положення виробничого обладнання [158]. Передача експлуатаційного навантаження на обладнання допускається після набору клеєм проектної міцності.

5.4.3. Склеювання на вертикальних бетонних поверхнях

У цьому випадку технологічний процес приклейки кріпильних вузлів складається з наступних операцій:

- підготовка поверхонь металу та бетону до склеювання;

- на поверхню кріпильного вузла, яка буде приклеюватися до бетонної конструкції, шпателем наноситься шар клею;

- кріпильний вузол із попередньо нанесеним шаром клею встановлюють в проектне положення;

- робітники легко притискають, або легко простукують молотком по кріпильному вузлу до появи по периметру надлишків клею, після чого забезпечується геометрична незмінність його положення спеціальними утримуючими пристроями.

Утримуючі пристрої демонтують не раніше ніж через 24 години з моменту приклеювання кріпильного вузла [158].

Передача експлуатаційного навантаження на кріпильний вузол допускається тільки після набору акриловим модифікованим клеєм проектної міцності.

5.5. Екологія та техніка безпеки

Одним з компонентів, з яких складається акриловий клей – це затверджувач (ММА), що являється речовиною загальноотрутної дії зі специфічним різким запахом. Його пари дратують верхні дихальні шляхи і, потрапляючи на шкіру, викликають роздратування. Один з компонентів затверджувача, диметиланілін, являє собою горючу рідину і впливає на центральну нервову систему. Температура спалаху диметиланіліна дорівнює 72°С, а температура займання - 400°С.

Гранично допустима концентрація (ГДК) парів метилметакрилату в повітрі робочої зони не повинна перевищувати 10 кг/м^3. Пари рідини акрилових клеїв з повітрям утворюють вибухонебезпечні суміші (категорія вибухонебезпечної суміші групи IIA). Не допускається застосовувати рідину для знежирення, а також для миття рук.

Всі приміщення повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією, та/або своєчасно провітрюватися. В якості індивідуальних засобів захисту можуть бути використані респіраторні маски та захисні окуляри.

У місцях де проводяться роботи з акриловими клеями, повинні бути усунені всі джерела займання: відкрите полум’я, розпечені поверхні, іскри від працюючого електрообладнання.

У зв’язку з усім вищевказаним, до технологічних робіт, які пов’язані з акриловим клеєм, повинні допускатися робітники, які пройшли медичний огляд та інструктаж з техніки безпеки і виробничої санітарії. Особи, які постійно працюють з акриловими клеями повинні періодично проходити медичний

огляд. Робітникам, які зайняті приготуванням акрилового клею, необхідно видавати захисний одяг: комбінезони, гумовий фартух, гумові рукавички і захисні окуляри. Всі операції з приготування акрилового клею слід проводити в добре провітрюваному (кондиціонованому) приміщенні. Якщо належний рівень вентиляції забезпечити неможливо – необхідно надіти респіратор. Краплі затверджувача або полімеррозчину, які потрапили на шкіру, повинні бути негайно змиті з тампоном, що змочений ацетоном, після чого уражене місце слід ретельно промити мильною водою. В процесі виробництва робіт, пов'язаних з акриловим клеєм та очищенням бетонної поверхні, необхідно не вдихати пил від шліфування та концентровані випаровування. Прийом їжі на виробничому місці категорично забороняється.

В затвердженому стані акриловий клей являє собою екологічно безпечний продукт та жодним чином не впливає на людину і навколишнє середовище.

5.6. Техніко-економічна доцільність використання безанкерного кріплення у порівнянні зі стандартним та хімічним анкеруванням

З метою обґрунтування доцільності та ефективності використання запропонованого клейового методу з'єднання сталі з бетоном в будівництві, була детально розрахована ситуативна порівняльна задача, в рамках якої планується улаштування кріплення виробничого обладнання методом стандартного анкерування, хімічного анкерування з використанням капсул марки "Hilty" (як найрозповсюдженіших в Україні) та безанкерним методом на акрилових модифікованих клейових композиціях.

На підставі проведеного розрахунку були сформульовані відповідні висновки, які свідчать про суттєві техніко-економічні переваги використання безанкерного клейового методу кріплення сталі з бетоном.

Таблиця 5.8

Перелік основних інструментів та технологічних операцій для улаштування анкерного/безанкерного з'єднання

Найменування параметру	Стандартне анкерування	Хімічне анкерування з використанням капсул "Hilti"	Безанкерне з'єднання на акрилових модифікованих клеях
Необхідний перелік основних інструментів перед початком будівельних робіт	*При улаштуванні анкерів в бетоні класу < С16/20:* 1) Перфоратор пневматичний 2) Бурові коронки долотчасті 3) Бурові коронки хрестові 4) Бурові штанги (для подачі промивної води або стиснутого повітря для очищення отвору) 5) Анкерні розпірні болти (за проектом) 6) Молоток для забивання анкерів 7) Динамометричний ключ 8) Кондукторна плита (за необхідністю)	*При улаштуванні анкерів в бетоні класу < С16/20:* 1) Перфоратор пневматичний 2) Бурові коронки долотчасті 3) Бурові коронки хрестові 4) Бурові штанги (для подачі промивної води або стиснутого повітря для очищення отвору) 5) Хімічний анкер марки "Hilti" 6) Дозатор для введення клею в отвір 7) Анкери (за проектом) 8) Кондукторна плита (за необхідністю)	1) Попередньо скомпонована акрилова композиція 2) Шліфувальна машина з абразивним диском для очищення бетонної поверхні 3) Знежирювач для металу 4) Будівельний шпатель для рівномірного розподілення клею по бетонній поверхні 5) Підкладки-фіксатори (за необхідністю)
	При улаштуванні анкерів в бетоні класу < С16/20: 1) Перфоратор електричний 2) Свердла твердосплавні 3) Свердла з природними або штучними алмазами корончаті (при великих діаметрах отвору) 4) Установка для очищення отворів стиснутим повітрям 5) Анкерні розпірні болти (за проектом) 6) Молоток для забивання анкерів 7) Динамометричний ключ 8) Кондукторна плита (за необхідністю)	*При улаштуванні анкерів в бетоні класу < С16/20:* 1) Перфоратор електричний 2) Свердла твердосплавні 3) Свердла з природними або штучними алмазами корончаті (при великих діаметрах отвору) 4) Установка для очищення отворів стиснутим повітрям 5) Хімічний анкер марки "Hilti" 6) Дозатор для введення клею в отвір 7) Анкери (за проектом) 8) Кондукторна плита (за необхідністю)	

	При улаштуванні анкерів в залізобетоні: 1) Установка для алмазного свердління 2) Алмазні коронки (свердла, бури) 3) Додаткова охолоджувальна система 4) Установка для очищення отворів стиснутим повітрям 5) Анкерні розпірні болти (за проектом) 6) Молоток для забивання анкерів 7) Динамометричний ключ 8) Кондукторна плита (за необхідністю)	*При улаштуванні анкерів в залізобетоні:* 1) Установка для алмазного свердління 2) Алмазні коронки (свердла, бури) 3) Додаткова охолоджувальна система 4) Установка для очищення отворів стиснутим повітрям 5) Хімічний анкер марки “Hilti” 6) Дозатор для введення клею в отвір 7) Анкери (за проектом) 8) Кондукторна плита (за необхідністю)	
Цикл підготовчих робіт	1) Розмітка під свердловини 2) Очищення бетонних/залізобетонних поверхонь сталевою щіткою 3) Очищення та знежирення анкерів	1) Розмітка під свердловин 2) Очищення бетонних/залізобетонних поверхонь сталевою щіткою 3) Очищення та знежирення анкерів	1) Розмітка під монтаж опор виробничого обладнання 2) Очищення бетонної поверхні перед склеюванням 3) Очищення та знежирення поверхні металевого кріпильного вузла (за необхідністю)
Цикл монтажних робіт	1) Свердління (буріння) отворів в бетоні або залізобетоні з регулярним охолодженням бурів 2) Продувка (очищення) отворів 3) Забивання анкерів (болтів) 4) Затягування анкерів (болтів) необхідним моментом затяжки	1) Свердління (буріння) отворів в бетоні або залізобетоні з регулярним охолодженням бурів 2) Продувка (очищення) отворів 3) Введення клейового складу в отвори 4) Забивання анкерів (болтів) 5) Затягування анкерів (болтів) необхідним моментом затяжки	1) Нанесення клейової композиції на попередньо очищену бетонну або залізобетону поверхню 2) Монтаж та установка виробничого обладнання

Ситуативна задача. Улаштувати кріплення ділянки промислової лінії для різання холодного прокату у чотирьох точках опори. Основа – бетон класу С20/25. Опорна частина обладнання – лапки розміром 22×12 см, висотою 4 см.

а) Трудомісткість робіт:

1) Норми часу при улаштуванні стандартного анкерування:

- норми часу при очищенні бетонних/залізобетонних поверхонь сталевою щіткою з промивкою водою – 0,19 чол.-год. на 10 м^2, 2 розряд робітників;

- норми часу при свердлінні отворів в бетонних або залізобетонних стінах і підлогах електроперфоратором з продувкою отворів стисненим повітрям при діаметрі отворів до 20 мм і глибині свердління до 120 мм – 0,52 чол.-год. на 10 отворів, 3 розряд робітників;

- норми часу при установці анкерних болтів діаметром до 50 мм, довжиною до 1 м – 0,59 люд.-год. на 1 болт, 4 розряд робітників;

- норми часу при контрольній затяжці болтів динамометричними ключами – 0,13 люд.-год. на 10 болтів, 4 розряд робітників.

Загальна трудомісткість робіт при улаштуванні звичайного анкерування у чотирьох точках кріплення дорівнює: 0,0019+0,208+(0,59×4)+0,052 = 2,62 люд.-год.

2) Норми часу при улаштуванні хімічного анкерування:

- норми часу при очищенні бетонних/залізобетонних поверхонь сталевою щіткою з промивкою водою – 0,19 чол.-год. на 10 м^2, 2 розряд робітників;

- норми часу при свердлінні отворів в бетонних або залізобетонних стінах і підлогах електроперфоратором з продувкою отворів стисненим повітрям при діаметрі отворів до 20 мм і глибині свердління до 120 мм – 0,52 чол.-год. на 10 отворів, 3 розряд робітників;

- норми часу при установці анкерних болтів (шпильок) діаметром до 50 мм, довжиною до 1 м на клейовій основі з її попереднім приготуванням – 0,67 люд.-год. на 1 болт, 4 розряд робітників;

- норми часу при забиванні анкерних болтів (шпильок) молотками – 0,125 люд.-год. на 10 болтів (шпильок), 4 розряд робітників.

Загальна трудомісткість робіт при улаштуванні хімічного анкерування у чотирьох точках кріплення дорівнює: 0,0019+0,208+(0,67×4)+0,05 = 0,62 люд.-год.

3) Норми часу при улаштуванні безанкерного кріплення на акрилових модифікованих клеях:

- норми часу при очищенні бетонних/залізобетонних поверхонь абразивним диском з видаленням пилу – 0,37 чол.-год. на 10 м^2, 3 розряд робітників;

- норми часу при приготуванні акрилового модифікованого клею із компонентів - 0,7 чол.-год. на 10 кг клею, 5 розряд робітників;

- норми часу при нанесенні акрилового модифікованого клею на бетонну поверхню - 0,29 чол.-год. на 1 м^2 поверхні, що змазується, 4 розряд робітників.

Загальна трудомісткість робіт при улаштуванні безанкерного кріплення у чотирьох точках опори дорівнює: 0,0074+0,07+0,029 = 0,11 люд.-год.

б) Вартість витратних матеріалів при стандартному анкеруванні:

1) Для кріплення технологічного обладнання у 4-х точках використаємо розпірні анкери марки “Hilty HSL-3”.

Анкер “Hilty HSL-3 M12/50” – високоефективний розпірний анкер для високих навантажень (вуглецева сталь + шестигранна голівка). Даний анкер забезпечує високу надійність при розтягувальних та поперечних навантаженнях, а також підходить для роботи в умовах динамічних навантажень, включаючи втому матеріалу, сейсмічне та шокове навантаження.

Галузі використання даного анкера – це високі навантаження, наприклад, встановлення промислових верстатів, важкого технологічного обладнання, сталевих колон, опор для важких трубопроводів, насосів, опор для балок, медичного обладнання, укосин, кранів, підйомників для автомобілів тощо.

Розмір анкера M12. Довжина анкера 156 мм. Ринкова ціна даної моделі розпірного анкеру станом на листопад 2018 року - 347,93 грн.

2) Для кріплення технологічного обладнання розпірними анкерами марки “Hilty HSL-3 M12/50” необхідно улаштувати 4 отвори в бетоні у попередньо

розмічених місцях. Виходячи з технологічних рекомендацій “Hilty” [159], для установки даної марки анкерів потрібні наступні конструктивні параметри:

- діаметр свердла під анкер (номінальний діаметр отвору) d_0 = 18 мм;

- глибина свердління отвору h_1 = 105 мм;

- ефективна глибина анкерування h_{ef} = 80 мм.

Для улаштування отворів в бетоні/залізобетоні використаємо електричний перфоратор з буром марки TE-CX (SDS plus) з 4-гранчастою твердостопною головкою для свердління отворів для анкерів в бетоні/залізобетоні.

Виходячи з конструктивних параметрів обраного анкера (d_0 = 18 мм, h_1 = 105 мм, h_{ef} = 80 мм), обираємо бур марки TE-CX 18/22. Ринкова ціна даної моделі буру станом на листопад 2018 року - 1098,74 грн.

3) Отже, сумарна вартість використовуваних матеріалів (без урахування вартості технологічного інструменту) при звичайному анкерному кріпленні технологічного обладнання дорівнює: 347,93×4 + 1098,74 = 2490,46 грн.

в) Вартість витратних матеріалів при хімічному анкеруванні з використанням капсул марки “Hilti”:

1) Для проведення техніко-економічного порівняння оберемо одну з найбільш розповсюджених моделей клейових анкерів “Hilti”, а саме марку “Hilti HIT RE-500 V3”.

“Hilti HIT RE-500 V3” – це унікальний епоксидний склад, який призначений для відновлення арматурних випусків і важких анкерних кріплень. Дана модель підходить для використання у бетоні з тріщинами та без тріщин з усіма анкерними елементами, а також для анкерувальних робіт в отворах, які утворені різними видами бурів (у тому числі алмазними коронками).

Ринкова ціна (станом на листопад 2018 року) даної моделі хімічного анкера - 1394,12 грн. Вміст одного балона/картриджа – 0,5 л.

2) Для введення суміші з клейової капсули в отвір необхідно мати спеціальний дозатор з касетами. Під обрану модель хімічного анкера підходить дозатор марки “Hilty HDM 500 CR/CB” з комплектом касет у кейсі (для

багаторазового використання). Ринкова ціна даної моделі дозатору станом на листопад 2018 року - 2298,95 грн.

Також, можливо придбання дозатору марки “Hilty HDM 500” та касет “Hilty HIT-CB 500” або “Hilty HIT-CR 500” окремо, а не в комплекті.

Ринкова ціна дозатору марки “Hilty HDM 500” з картриджем без касет станом на листопад 2018 року – 1109,17 грн.

Ринкова ціна однієї касети марки “Hilty HIT-CB 500”або “Hilty HIT-CR 500” станом на листопад 2018 року – 188,04 грн.

3) Для кріплення технологічного обладнання у 4-х точках оберемо стандартні анкерні шпильки для використання з хімічним анкерами марки “Hilty HAS-E” (вуглецева сталь 5.8).

Анкерний стрижень марки “Hilty HAS-E M16×125/38” підходить для кріплень у бетоні та інших матеріалах у поєднанні з відповідним клейовим анкером “Hilti HIT”. Розмір анкерної шпильки M16. Довжина анкера 190 мм. Ринкова ціна даної моделі анкерної шпильки станом на листопад 2018 року - 65,60 грн.

4) Виходячи з технологічних рекомендацій “Hilty”, для установки анкерних шпильок марки “Hilty HAS-E M16×125/38” потрібні наступні конструктивні параметри:

- діаметр свердла під анкер (номінальний діаметр отвору) d_0 = 18 мм;

- глибина свердління отвору h_1 = 105 мм;

- ефективна глибина анкерування h_{ef} = 80 мм.

5) Для улаштування отворів в бетоні/залізобетоні використаємо електричний перфоратор з буром марки TE-CX (SDS plus) з 4-гранчастою твердостопною головкою для свердління отворів для анкерів в бетоні/залізобетоні.

Виходячи з конструктивних параметрів обраного анкера (d_0 = 18 мм, h_1 = 105 мм, h_{ef} = 80 мм), обираємо бур марки TE-CX 18/22. Ринкова ціна даної моделі буру станом на листопад 2018 року - 1098,74 грн.

6) Отже, сумарна вартість використовуваних матеріалів (з урахуванням вартості дозатору для введення клейової суміші “Hilty”) при хімічному анкерному кріпленні технологічного обладнання дорівнює:

- при використанні дозатору “Hilty HDM 500 CR/CB” з комплектом касет у кейсі: 1394,12 + 2298,95 + 65,60×4 + 1098,74 = 5054,21 грн;

- при окремому придбанні дозатору “Hilty HDM 500” та касети “Hilty HIT-CR 500”: 1394,12 + 1109,17 + 188,04 + 65,60×4 + 1098,74 = 4052,47 грн.

г) Вартість витратних матеріалів при безанкерному кріпленні з використанням пропонованої акрилової композиції:

1) Виходячи з результатів експериментів по визначенню впливу способів очищення бетонної поверхні під склеювання, що наведені у Розділі 3.1.1, найбільші високі показники міцності клейових кріплень отримані при механічному способі очищення бетонної поверхні за допомогою абразивного диска. У цьому випадку відбувається цілковите видалення поверхневого шару без кардинального порушення самої цілісності бетону, про що свідчать високі показники міцності і однорідності даних з'єднань.

Для проведення робіт з очищення бетонної поверхні під склеювання оберемо стандартну алмазну чашку для шліфування усіх типів бетону, стяжки та натурального каменю марки DG-CW 115/22.2P. Ринкова ціна даної абразивного диску станом на листопад 2018 року - 643,37 грн.

2) Для улаштування безанкерного кріплення технологічного обладнання використаємо попередньо скомпоновану акрилову композицію [84, 86]. Ринкова собівартість 0,5 л пропонованої акрилової композиції дорівнює 360 грн.

3) Отже, сумарна вартість використовуваних матеріалів при безанкерному кріпленні технологічного обладнання дорівнює: 643,37 + 360 = 1003,37 грн.

д) Витрати клейової суміші:

1) Виходячи з конструктивних характеристик, розрахуємо витрату клейової суміші хімічного анкера. Витрата клейової суміші при хімічному анкеруванні на один отвір дорівнює:

$$V = \pi \times d \times h_1 = 3{,}14 \times 0{,}18 \times 0{,}7 = 0{,}395 \approx 0{,}4\,\text{см}^3 = 0{,}0004\ \text{л}.$$

Загальні витрати клейової суміші на 4 отвори при хімічному анкеруванні дорівнюють: 0,0004 × 4 = 0,0016 л.

2) Загальні витрати модифікованої акрилової композиції для безанкерного кріплення (при висоті клейового шва ≈ 3 мм) дорівнюють:

$$V = (a \times b \times h) \times n = (22 \times 12 \times 0{,}5) \times 4 = 528\,\text{см}^3 \approx 0{,}53\ \text{л}.$$

де: a, b – розміри опорних лапок технологічного обладнання;

h – висота клейового шва з урахуванням усадки;

n – кількість клейових кріплень.

Висновки:

Висновки до відповідних розрахунків приведені у табличній формі.

Таблиця 5.9

Зведена відомість техніко-економічних показників різних способів кріплення

Найменування показника	Стандартне анкерування	Хімічне анкерування з використанням капсул “Hilti”	Безанкерне з’єднання на акрилових модифікованих клеях
Необхідна кількість основних робочих інструментів	8	8	5
Загальна кількість технологічних операцій при улаштуванні кріплення	6	7	5
Загальна трудомісткість робіт	2,62 люд.-год.	2,93 люд.-год.	0,12 люд.-год.
Ринкова вартість основних витратних матеріалів при улаштуванні кріплення	2490,26 грн	5054,21 грн 4052,47 грн	1003,37 грн

5.7. Науково-промислове впровадження результатів дослідження

Результати дисертаційного дослідження були впроваджені на підприємстві БК “Укрпромбуд” у м. Харків при промисловому переобладнанні виробничих цехів підприємства (Додаток В.1). Було проведено безанкерне клейове кріплення промислового обладнання насосної установки підвищення тиску та насосної станції акриловими модифікованими композиціями (рис. 5.8-5.11). Завдяки запропонованому безанкерному клейовому методу кріплення, у порівнянні зі стандартним анкеруванням, було заощаджено близько 0,4 м^3 бетону та 42 одиниці металевих кріплень (закладні деталі, анкери, болти тощо), що в свою чергу дозволило значно скоротити терміни установки обладнання і витрату трудових ресурсів.

Рис. 5.8. Нанесення клейової композиції на бетонну поверхню безпосередньо перед монтажем насосного обладнання на базі БК “Укрпромбуд” (м. Харків)

Рис. 5.9. Склеювання вузла кріплення обладнання з бетонною поверхнею

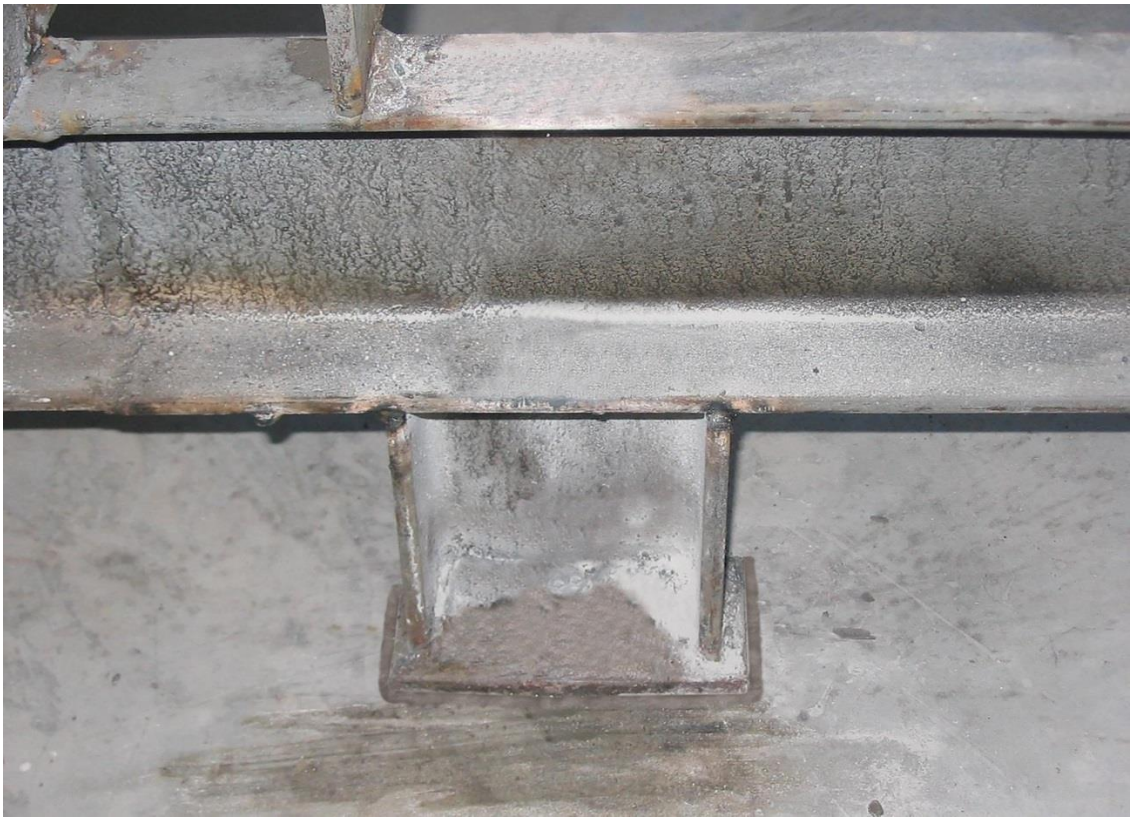


Рис. 5.10. Вузол клейового кріплення виробничого обладнання (сталі з бетоном)

Рис. 5.11. Загальний вид насосного обладнання, яке закріплене безанкерним клейовим методом на базі БК “Укрпромбуд” (м. Харків)

В процесі даного впровадження був розрахований економічний ефект (87 грн/м^2 без урахування ринкової вартості витратних матеріалів) від застосування розробленого кріплення, в порівнянні з анкеруванням, за рахунок зниження термінів виробництва, а також спрощення виконання будівельних робіт.

На базі ТОВ “Будцентр Витязь”, в період з 07.11.2017 р. по 10.11.2017 р., при переобладнанні виробничих приміщень підприємства були впроваджені окремі положення даного наукового дослідження, а саме безанкерне клейове кріплення фуговально-рейсмусного верстату марки Протон РС-330 (рис. 5.12-5.13) на акрилових модифікованих клеях за технологією та інженерними розрахунками, які запропоновані в дисертаційній роботі (Додаток В.2).

Рис. 5.12. Загальний вид фуговально-рейсмусного устаткування, яке закріплене безанкерним клейовим методом на базі ТОВ “Будцентр Витязь” (м. Харків)

Рис. 5.13. Вузол клейового кріплення виробничого обладнання (сталі з бетоном)

У результаті даного впровадження була підтверджена економічна доцільність застосування безанкерного клейового кріплення із використанням акрилових композицій. Улаштування даного клейового кріплення для поточних монтажних робіт дозволило якісно і в потрібний термін провести роботи з кріплення виробничого устаткування та заощадити матеріальні ресурси (близько 57 грн/м^2 без урахування ринкової вартості витратних матеріалів) за рахунок скорочення технологічних операцій і зменшення трудовитрат.

У листопаді 2017 року на базі ТОВ “Будівельник” (м. Харків) при відновлювальному переоснащенні силових ліній електропостачання у складських приміщеннях підприємства (рис. 5.14) за допомогою акрилових модифікованих клеїв було здійснено кріплення 16 одиниць рожкових кронштейнів під наступну прокладку електрокабельних ліній (Додаток В.3). Використання поверхневої приклейки було обумовлене тим, що при улаштуванні бетонних густоармованих стін не були заздалегідь запроектовані закладні деталі під кріплення відповідних електрокабельних конструкцій.

Рис. 5.14. Прокладка електрокабельних ліній по рожковим кронштейнам, які закріплені безанкерним клейовим методом на базі ТОВ “Будівельник”

В процесі даного впровадження був розрахований економічний ефект (46 грн/м^2 без урахування ринкової вартості витратних матеріалів) від застосування розробленого кріплення, в порівнянні з анкеруванням, за рахунок зниження термінів виробництва, а також спрощення виконання будівельних робіт.

Слід зазначити, що розроблена технологія прийнята і рекомендована до впровадження при кріпленні виробничого устаткування на всіх вказаних підприємствах. Спостереження і фіксація стану вищезазначених влаштованих клейових кріплень ведеться по теперішній час.

5.8. Використання результатів досліджень в навчальному процесі

Результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова у курсах лекцій, на практичних та лабораторних заняттях із

дисциплін “Будівельна механіка” (кафедра ТіБМ) та “Будівельні конструкції” (кафедра БК) при підготовці бакалаврів за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” (Додаток В.4). В рамках навчального процесу студенти були ознайомлені з основними фізико-механічними та хімічними властивостями акрилового клею, методами модифікації його складу, галузями застосування в будівництві тощо. Студентам була надана детальна інформація щодо улаштування безанкерного клейового кріплення виробничого устаткування та технологічних комунікацій до бетонних/залізобетонних конструкцій поверхневою приклейкою та різноманітних технологічних параметрів, які впливають на міцність даного з’єднання.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5:

1. У результаті експериментальних досліджень міцності клейових з’єднань сталі з бетоном, розроблено безанкерні конструкції кріплень виробничого устаткування та технологічних комунікацій за рахунок приклейки опорних вузлів обладнання безпосередньо до бетонної поверхні.

2. Розроблено метод інженерного розрахунку безанкерних клейових сталебетонних конструкцій, а також надано рекомендації щодо технології улаштування вказаних кріплень акриловими модифікованими композиціями.

3. Детально обґрунтована техніко-економічна доцільність використання безанкерного кріплення у порівнянні зі стандартним та хімічним анкеруванням. Пропонований безанкерний клейовий метод кріплення сталі з бетоном має суттєві переваги, а саме:

- зниження кількості використовуваних основних робочих інструментів та технологічних операцій загалом;

- істотне зниження загальної трудомісткості технологічних робіт;

- матеріальне заощадження близько 1500 грн. у порівнянні зі стандартним анкеруванням, та близько 3500 грн. у порівнянні з хімічним анкеруванням.

4. Результати дисертаційного дослідження були впроваджені на ряді промислових підприємств міста Харкова, а саме:

- на базі БК “Укрпромбуд” при безанкерному клейовому кріпленні промислового обладнання насосної установки підвищення тиску та насосної станції;

- на базі ТОВ “Будцентр Витязь” при безанкерному клейовому кріпленні фуговально-рейсмусного верстату за технологією та інженерними розрахунками, що запропоновані в дисертаційній роботі;

- на базі ТОВ “Будівельник” при відновлювальному переоснащенні силових електроліній у складських приміщеннях підприємства (кріплення 16 одиниць рожкових кронштейнів під наступну прокладку електрокабельних ліній).

У результаті реалізації вказаних дослідно-наукових впроваджень був досягнутий і розрахований певний економічний ефект (87 грн/м^2, 57 грн/м^2 та 46 грн/м^2 без урахування ринкової вартості витратних матеріалів, відповідно) від застосування розробленого кріплення, в порівнянні з анкеруванням, за рахунок економії матеріальних ресурсів, зниження термінів виробництва, а також спрощення виконання будівельних робіт.

5. Результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі ХНУМГ імені О.М. Бекетова при підготовці бакалаврів за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” у складі нормативних дисциплін (цикл дисциплін професійної підготовки).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовані постановка, використання і метод рішення осесиметричної задачі теорії пружності в циліндричній системі координат для трьох шарів (сталевої пластини, клейового шва та бетонного масиву), які пов'язані між собою умовами безперервності напружень та деформацій при осесиметричному довільному навантаженні, для визначення напружено-деформованого стану клейових сталебетонних з'єднань.

2. Встановлено, що незалежно від виду руйнуючих зусиль (навантажень), геометричних характеристик клейового з'єднання (розміри в плані та товщина сталевих пластин, висота клейового шва, відстань кріплення сталевих елементів від обрізу бетонної конструкції), фізико-механічних властивостей бетону та технологічних параметрів руйнування клейових сталебетонних з'єднань на акрилових модифікованих композиціях відбувається когезійно (по бетону).

3. Визначено, що на короткочасну міцність клейових сталебетонних з'єднань на акрилових модифікованих клеях, на границі сталі з бетоном, суттєвий вплив мають: вид докладених навантажень, умовна жорсткість (Δ_{min} = 0,06 - $\sigma_{0міц}$ = 1,83 МПа; Δ_{max} = 0,225 - $\sigma_{0міц}$ = 3,57 МПа) та геометрія сталевих опорних пластин (від $F_{пл}$ = 64 см^2 – 2,32 МПа до $F_{пл}$ = 225 см^2 – 1,62 МПа), клас бетону (від С8/10 – $R_{кл,сер}$ = 3,07 МПа до С32/40 – $R_{кл,сер}$ = 6,23 МПа), віддалення зони склеювання від грані будівельної конструкції (відношення $F_б$ / $F_{пр}$ = 1 - $R_{кл}$ = 1,62 МПа; $F_б$ / $F_{пр} \geq 6$ - $R_{кл}$ = 3,91 МПа), способи очищення бетонної поверхні під склеювання (очищення абразивним диском $R_{кл,сер}$ = 3,07 МПа) та сторона бетонування, до якої приклеюється сталевий вузол кріплення (при $F_{пл}$ = 64 см^2 низ бетонування $R_{кл,сер}$ = 3,87 МПа; верх бетонування $R_{кл,сер}$ = 2,36 МПа).

4. Експериментально доведено, що при багаторазово повторюваних навантаженнях границя витривалості клейових з'єднань сталі з бетоном визначається границею витривалості бетону та не залежить від коефіцієнту асиметрії циклу повторюваних напружень ε_b. Руйнування зразків клейового з'єднання після 2×10^6 циклів навантаження не відбувається. Залишкова міцність з'єднання нижче ніж міцність зразків, які були зруйновані статичним

короткочасним навантаженням перед початком випробувань (при $\delta_{кл}$ = 2 мм середнє зниження міцності при ρ_b = 0,15 – 5,9 %; при ρ_b = 0,30 – 4,6 %; при ρ_b = 0,45 – 3,9 %).

5. Розроблено метод інженерного розрахунку безанкерних клейових сталебетонних кріплень при впливі різних видів навантажень ($P_{відр}$, $P_{н.відр}$, $P_{зсв}$), в якому враховано особливості геометричних характеристик і технологічних параметрів клейових з'єднань сталі з бетоном.

6. Результати експериментальних випробувань верифіковані за допомогою чисельного моделювання в спеціалізованих програмних комплексах "ЛІРА 10" та "ANSYS". Отримано задовільне зіставлення експериментальних результатів і розрахунків за допомогою МСЕ (на 90-95 % в залежності від виду докладеного навантаження) з урахуванням фізичної нелінійності деформування, що підтверджує висновки про надійну роботу безанкерних клейових сталебетонних з'єднань при впливі різних видів навантажень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Бліхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будівель і споруд / З.Я. Бліхарський. – Львів: Львівська політехніка, 2008. – 108 с.

2. Золотов М.С. Анкерні болти: конструкція, розрахунок, проектування / М.С. Золотов. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 121 с.

3. Золотов М.С. Опыт применения клеевых соединений в строительстве / М.С. Золотов, Л.Н. Шутенко, Н.А. Псурцева, В.В. Душин. – Харьков: ХИИКС, 1985. – 98 с.

4. Лапенко О.І. Розрахунок сталезалізобетонних конструкцій підсилених за допомогою епоксидних клеїв / О.І. Лапенко, А.І. Машкова // Збірник наукових праць ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка. – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – Вип. 3 (2). - С. 83-85.

5. Лапенко О.І. Несуча здатність сталезалізобетонних елементів на стиск при склеюванні акриловими клеями / О.І. Лапенко // Збірник наукових праць НАУ “Проблеми міського середовища”. – К.: НАУ, 2013. – Вип. 10. - С. 71-78.

6. Лапенко О.І. Раціональні згинальні конструкції зі сталевих елементів із заповненими бетоном порожнинами за допомогою склеювання / О.І. Лапенко, П.С. Білокуров, Г.І. Гришко, А.І. Машкова // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 150. - С. 98-104.

7. Стороженко Л.І. Конструкції залізобетонних перекриттів по профільному настилу із забезпеченням сумісної роботи бетону і сталі за допомогою склеювання / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко, О.Г. Горб // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – Львів: Львівська політехніка, 2010. - № 662. – С. 360-365.

8. Стороженко Л.І. Розрахунок стиснутих сталезалізобетонних елементів із клейовим з’єднанням бетону і сталі / Л.І. Стороженко, О.Г. Горб // Наук.-тех. зб. “Комунальне господарство міст”. - Харків: ХНАМГ, 2012. - Вип. 105. - С. 47-54.

9. Стороженко Л.І. Міцність клейових з’єднань сталі та бетону / Л.І. Стороженко, О.Г. Горб, П.С. Білокуров // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 149. – С. 113-118.

10. Стороженко Л.І. Клейові з’єднання сталі та бетону / Л.І. Стороженко, Ю.О. Давиденко, О.Г. Горб, О.А. Горб // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 155. – С. 184-190.

11. Кріплення технологічного обладнання і металевих конструкцій до фундаментів та безпека праці: навчальний посібник для студентів будівельних спеціальностей / Л.М. Шутенко, М.С. Золотов, Я.О. Сєріков, С.М. Золотов, В.О. Скляров, С.Я. Сєріков. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 285 с.

12. Смородинов М.И. Анкерные устройства в строительстве / И.М. Смородинов. – М.: Стройиздат, 1983. – 184 с.

13. Вишневский П.Ф. Современные методы анкерного крепления в строительстве / П.Ф. Вишневский. – М.: Воениздат, 1981. – 247 с.

14. Newman A. Foundation and anchor design guide for metal building systems / Alexander Newman. – Pennsylvania, USA: McGraw Hill Professional, 2013. – 286 p. – ISBN-13:978-00717663357.

15. ETAG 001, Edition 1997. Guideline for European Technical Approval of metal anchors for use in concrete. Annex C: Design methods for anchorages. – Brussels: Kunstlaan, 2010. - 3rd Amendment. – 34 p.

16. Характерные дефекты опорного узла абсорбционной колонны в производстве неконцентрированной азотной кислоты / Г.В. Катышева, И.Н. Косячков, И.Н. Феликидис, О.Е. Алексеев, С.В. Дьяконов // Химическая техника № 1 (2016): Официальный сайт [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://chemtech.ru/harakternye-defekty-opornogo-uzla-absorbcionnoj-kolonny-v-proizvodstve-nekoncentrirovannoj-azotnoj-kisloty/

17. Атабеков В.Б. Монтаж осветительных электроустановок / В.Б. Атабеков, М.С. Живов. – М.: Высшая школа, 1984. – 389 с.

18. Бондаренко В.Л. Справочник электромонтажника / В.Л. Бондаренко, М.Н. Плетник. – К.: Будівельник, 1986. – 256 с.

19. Гайдамак К.М. Монтаж оборудования общего назначения / К.М. Гайдамак. – М.: Стройиздат, 1981. – 187 с.

20. Рябцев Ю.И. Справочник по монтажу распределительных устройств выше 1000 В / Ю.И. Рябцев. – М.: Энергия, 1981. – 186 с.

21. Наумов В.Г. Справочник молодого монтажника оборудования общего назначения / В.Г. Наумов, К.М. Гайдамак. – М.: Высшая школа, 1986. – 255 с.

22. Перешивкин А.К. Справочник строителя. Монтаж систем внешнего водоснабжения и канализации / К.А. Перешивкин, А.А. Александров, Е.Д. Булынин, Б.В. Гусев и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 653 с.

23. Тавастшерна Р.И. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов / Р.И. Тавастшерна. – М.: Книга по требованию, 2012. - 288 с.

24. Тыркин Б.А. Монтаж компрессоров, насосов и вентиляторов / Б.А. Тыркин, В.В. Шумаков. – М.: Стройиздат, 1985. – 248 с.

25. Тыркин Б.А. Монтаж холодильных установок / Б.А. Тыркин. – М.: Стройиздат, 1986. – 183 с.

26. Киянов И.Д. Монтаж технологического оборудования / И.Д. Киянов. - К.: Будівельник, 1980. - 160 с.

27. Матвеев В.В. Установка, выверка и крепление технологического оборудования и конструкций на фундаментах / В.В. Матвеев, А.А. Кузьмич. - М.: Стройиздат, 1990. – 127 с.

28. Маршев В.З. Монтаж технологического оборудования. Справочник строителя / В.З. Маршев, М.Л. Эльяш, М.П. Демат, А.М. Туранский., Л.Я. Бызер, И.П. Петрухин. – М.: Стройиздат, 1983. – 584 с.

29. Коваленко І.В. Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання хімічних виробництв: навч. посібник / І.В. Коваленко. – К.: Наукова думка, 2011. – 575 с.

30. Доброногов В.Г. Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень: навч. посібник / В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок. – К.: ІСДО, 1995. – 184 с.

31. Зевакин А.И. Шинопроводы в электрических сетях промышленных предприятий / А.И. Зевакин, И.И. Лигерман. – М.: Энергия, 1979. – 96 с.

32. Гольстрем В.А. Справочник энергетика промышленных предприятий / В.А. Гольстрем, А.С. Иваненко. – К.: Техника, 1977. – 464 с.

33. Кейгл Чарльз. Клеевые соединения: Справочник. Пер. с англ. яз. / Чарльз В. Кейгл. – М.: Мир, 1971. – 296 с.

34. Ковачич Л. Склеивание металлов и пластмасс / Людомир Ковачич; пер. со словац. И.В. Холодовой. – М.: Химия, 1985. – 240 с.

35. Петрова А.П. Поведение клеевых соединений при воздействии эксплуатационных факторов / А.П. Петрова, И.В. Семенычева. – М.: ОНТИ ВИАМ, 1986. – 54 с.

36. Кардашев К.А. Конструкционные клеи / К.А. Кардашев. – М.: “Химия”, 1980. – 288 с.

37. Canovas M.F. Las resinas epoxy en la construccion / M.F. Canovas. – Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, 1989. – 286 p.

38. Brockmann W. Adhesive bonding: adhesives, applications and processes / W. Brockmann, P. Geiss, J. Klingen, B. Schroder. – Manchester: WILEY-VCH, 2008. – 432 p.

39. Adams R.D. Adhesive bonding: science, technology and applications / R.D. Adams. – London: Woodhead Publishing in Materials, 2005. - 560 p.

40. Кардашов Д.А. Эпоксидные клеи / К.А. Кардашев. – М.: “Химия”, 1973. – 192 с.

41. Золотов М.С. Прочность приклейки крепежных узлов эпоксидным клеем при безанкерном креплении оборудования / М.С. Золотов, И.З. Барч, В.Г. Крытов // Реферативный сборник ЦИНИС “Межотраслевые вопросы строительства”. – М., Экспресс, 1973. – Вып. 5. – С. 36-39.

42. Золотов М.С. Исследования прочности клеевого безанкерного крепления на эпоксидных клеях / М.С. Золотов, И.З. Барч // Сборник научных трудов “Расчет конструкций подземных сооружений”. – К.: Будівельник, 1976. – С. 102-106.

43. Золотов М.С. Крепление оборудования и коммуникаций при помощи приклейки эпоксидным клеем к поверхности железобетонных конструкций /

М.С. Золотов, И.З. Барч, В.Г. Крытов // Информ. ЦБНТИ Минтяжстроя СССР “Передовой опыт строительства”. – М.: Экспресс, 1978. – Вып. 8. – С. 12-15.

44. Золотов М.С. Сталеклеевые крепления технологических конструкций при реконструкции зданий и сооружений / М.С. Золотов, Л.Н. Шутенко, М.Л. Гревцев // IV Украинская республиканская научно-техническая конференция по металлическим конструкциям; матер. конф. – К.: Будівельник, 1988. – Часть 4. - С. 16-18.

45. Кочергин Ю.С. Клеевые композиции на основе модифицированных эпоксидных смол / Ю.С. Кочергин, Т.А. Кулик, Т.И. Григоренко //Пластические массы. – М.: МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2005. – Вып. 10. – С. 9-15.

46. Баженов Ю.М. Прочность и деформативность клеевых соединений на основе метилметакрилата / Ю.М. Баженов, Н.Г. Матков, В.Я. Тян // Сб. научн. трудов “Жилищное строительство”. – М.: Экспресс, 1981. - Вып 1. – С. 19-20.

47. Брусенцева Т.А. Композиционные материалы на основе эпоксидной смолы и наночастиц / Т.А. Брусенцева, А.А. Филиппов, В.М. Фомин // Известия Алтайского государственного университета. – Барнаул: АлтГУ, 2014. – Вып. № 1 (81). - С. 25-27.

48. Rui-Xiang Cheng. Study on bonding properties of PVC-based WPC bonded with acrylic adhesive / Rui-Xiang Cheng, Li Zhang, Ying Li // Journal of Adhesion Science and Technology. – Dec. 2012. – Vol. 26. – Iss. 24. – P. 2729-2735.

49. Abenojar J. Effect of moisture and temperature on the mechanical properties of an epoxy reinforced with boron carbide / J. Abenojar, M.A. Martínez, F. Velasco, J.C. del Real-Romero // Journal of Adhesion Science and Technology. – Apr. 2012. – Vol. 25. – Iss. 18. – P. 2445-2460.

50. Chamochín R. The effect of surface treatment on the behavior of toughened acrylic adhesive/GRP (epoxy) composite joints / R. Chamochín, M.Cano, M. Pantoja, J. Abenojar, Y. Ballesteros, J.C. del Real-Romero // Journal of Adhesion Science and Technology. – Aug. 2010. – Vol. 24. – Iss. 11-12. – P. 1903-1916.

51. del Real-Romero J.C. Adhesive bonding of aluminium with structural acrylic adhesives: durability in wet environments / J.C. del Real-Romero, M. Cano,

J. Abenojar, M.A. Martínez // Journal of Adhesion Science and Technology. – Apr. 2010. – Vol. 20. – Iss. 16. – P. 1801-1818.

52. Yanmei Wang. Polymerization of epoxide with hydroxylamides as thermally latent initiators / Yanmei Wang, Mika Kimura, Atsushi Sudo, Takeshi Endo // Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry. – June 2016. – Vol. 54. – Iss. 16. – P. 2611-2617.

53. Canovas M.F. Refuerzo de elementos estructurales de hormigon armado mediante encolado de bandas de acero con adhesivos epoxidos / M.F. Canovas // Informes de la Construcción. – Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, 1985. – Vol. 37. – P. 27-38.

54. Fai Uehara. Metal-resin bonding mediated by epoxy monolith layer / Fai Uehara, Akikazo Matsumoto // Applied Adhesion Science Journal. Official site [Electronic resource]: Access mode: https://appliedadhesionscience.springeropen.com/articles/10.1186/s40563-016-0075

55. Bouchet J. The formation of epoxy/metal interphases: mechanisms and their role in practical adhesion / Jerome Bouchet, Alan-Andre Roche // The Journal of Adhesion. – USA, Virginia: Febr. 2001. – P. 799-830.

56. Гурьянов А.В. Кратковременная и длительная прочность соединений стали эпоксидным клеем, отвержденным олигоамидом Л-19 / А.В. Гурьянов. – К.: КИСИ, 1989. – 16 с.

57. Долгова О.А. Цементный клей для ремонтных работ / О.А. Долгова, Н.К. Естафьева // Межвузовский сборник научных трудов “Совершенствование технологии вяжущих и бетонов”. – Пермь: ППУ, 1987. – с. 108-112.

58. Лисенко В.А. Защитно-конструкционные полимеррастворы в строительстве / В.А. Лисенко. – К.: Будівельник, 1985. – 136 с.

59. Золотов С.М. Композиции на основе акриловых полимеров для ремонта и восстановления бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений / С.М. Золотов // Материалы и изделия для ремонта и строительства: Международный сборник научных трудов. – Новосибирск: НГАУ, 2007. – С. 165-168.

60. Шутенко Л.Н. Клеевые соединения древесины и бетона в строительстве / Л.Н. Шутенко, В.З. Клименко, Ю.Д. Кузнецов и др. – К.: Будівельник, 1990. – 136 с.

61. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе / А.Ф. Николаев. – Ленинград: Химия, 1964. – 779 с.

62. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технологии / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др. – Санкт-Петербург: Профессия, 2008. – 560 с.

63. Соломатов В.И. Полимерные композиционные материалы в строительстве / В.И. Соломатов, А.Н. Бобрышев, Н.Г. Химмлер. – М.: Стройиздат, 1988. – 312 с.

64. Кривенко П.В. Будівельне матеріалознавство: навчальний підручник / П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова, В.Б. Барановський, М.О. Кочевих, Ю.Г. Гасан, Б.Я. Константинівський, В.О. Ракша. – Київ: ЕксОб, 2004. – 704 с.

65. Благонравова А.А. Лаковые эпоксидные смолы / А.А. Благонравова, А.И. Непомнящий. – М.: Химия, 1970. – 248 с.

66. Советы по работе с эпоксидными смолами [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://dafna.com.ua/news/130-sovety-po-rabote-s-jepoksidkojj.html

67. Патент на винахід № 63360. Україна. МПК С04К 5/10 (2006.01). Полімерна композиція / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, М.С. Золотов, В.С. Волювач, А.О. Гарбуз, Гапонова Л.В.; власник ХДАМГ. - Заявл. 08.04.2003; Опубл. 15.01.2004, Бюл. № 1. – 4 с.

68. Патент на винахід № 70656. Україна, МПК С04В 24/29 (2006.01). Полімерна самотвердіюча композиція / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, С.М. Золотов, В.С. Волювач, А.О. Гарбуз; власник ХДАМГ. - Заявл. 22.12.2003; Опубл. 15.10.2004, Бюл. № 10. – 4 с.

69. Патент на винахід № 70687. Україна. МПК С08L 33/00 (2006.01). Самотвердіюча клейова композиція / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, Н.М. Золотова, С.М. Золотов, В.С. Волювач, В.І. Торкатюк; власник ХДАМГ. - Заявл. 23.12.2003; Опубл. 15.10.2004, Бюл. № 10. – 4 с.

70. Патент на винахід № 88250. Україна. МПК C08L 33/00 (2006.01). Акрилова композиція для кріплення анкерних болтів / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, С.М. Золотов, В.С. Волювач, Н.М. Золотова; власник ХНАМГ. - Заявл. 22.12.2008; Опубл. 25.09.2009, Бюл. № 18. – 6 с.

71. Патент на винахід № 47560. Україна. МПК C08L 33/00 (2006/01). Сополімерна композиція для кріплення анкерних болтів в бетоні / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, М.С. Золотов, С.М. Золотов, О.С. Скрипник; власник ХНАМГ. - Заявл. 26.08.2009; Опубл. 10.02.2010, Бюл. № 3. – 6 с.

72. Патент на винахід № 53872. Україна. МПК C09J 133/04 (2006/01). Клейова акрилова композиція / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, М.С. Золотов, В.С. Волювач, С.М. Золотов, Е.А. Шишкін; власник ХНАМГ. - Заявл. 23.03.2010; Опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20. – 6 с.

73. Гарбуз А.О. Анкерные соединения на акриловых клеях с повышенной адгезионной прочностью / А.О. Гарбуз // Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: материалы IV Укр. научн.-техн. конф. – Харьков: ХНАГХ, 1998. - С. 12-14

74. Золотов С.М. Акрилові клеї для підсилення, відновлення і ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій / С.М. Золотов // Збірник наукових праць “Будівельні конструкції”. – Київ: НДІБК, 2003. – Вип. 59. - С. 440-447.

75. Золотов С.М. Полимерные связующие, наполнители и модифицирующие добавки акриловых клеев повышенной адгезионной и когезионной прочности / С.М. Золотов, Е.С. Скрипник, М.С. Золотов // Комунальне господарство міст. - Харків: ХНУМГ імені О.М. Бекетова, 2013. - Вип. 110. - С. 8-16.

76. Золотов С.М. Акриловые клеи для соединения строительных конструкцій: монография // С.М. Золотов. – Харьков: ХНУГХ имени А.Н. Бекетова, 2016. – 185 с.

77. Фрейдин А.С. Полимерные водные клеи / А.С. Фрейдин. – М.: “Химия”, 1985. – 144 с.

78. Пластмасса акриловая самотвердеющая АСТ-Т. АТ “СТОМА”: Официальный сайт [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.stoma.kharkov.ua/tehnicheskaya-plast/tehnicheskaya/ast

79. Золотов С.М. Життєздатність акрилових клеїв / С.М. Золотов // Вісник Донбаської академії будівництва і архітектури “Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології”. – Макіївка: ДДАБА, 2005. – Вип. 8 (56). - С. 74-79.

80. Скрипник Е.С. Изменение когезионных свойств в наполненной акриловой клеевой композиции / Е.С. Скрипник, С.М. Золотов, М.С. Золотов // Сб. докл. межд. науч. конф. “Унитех 11”. – Габрово, Болгария: Технический университет, 2011. - С. 421-425.

81. Шутенко Л.Н. Крепление оборудования к готовым фундаментам / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, Ю.М. Смолянинов, Р.А. Спиранде. – Харьков: ХИИКС, 1982. – 60 с.

82. Фирсов П.М. Прочность и деформативность акриловых модифицированных композиций / П.М. Фирсов // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – С. 79-81.

83. Firsov Pavlo. Strength and deformation of acrylic modified glues / Pavlo Firsov // Proceedings of International scientific and practical conference “Build Master Class”. – Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016. - p. 126-127.

84. Патент на корисну модель № 109770. Україна. МПК C08L 33/12 (2006.01). Акрилова композиція / С.М. Золотов, П.М. Фірсов, В.К. Жданюк, П.А. Білим; власник ХНУМГ імені О.М. Бекетова. - № u 2016 01208; Заявл. 12.02.2016; Опубл. 12.09.2016, Бюл. № 17. – 6 с.

85. Патент на корисну модель № 120256. Україна. МПК(2017.01) C08L 33/12 (2006.01), C09J 4/00, C08K 5/17 (2006.01), C04B 15/06 (2006.01). Акрилова композиція / С.М. Золотов, П.М. Фірсов, В.К. Жданюк, П.А. Білим; власник ХНУМГ імені О.М. Бекетова. - № u 2017 04402; Заявл. 03.05.2017; Опубл. 25.10.2017, Бюл. № 20. – 6 с.

86. Патент України на винахід № 117314. Україна. МПК C08L 33/12 (2006.01), C04B 24/24 (2006.01), C04B 111/72 (2006.01). Акрилова композиція / С.М. Золотов, П.М. Фірсов, В.К. Жданюк, П.А. Білим; власник ХНУМГ імені О.М. Бекетова. - № a 2017 04337; Заявл. 03.05.2017; Опубл. 10.07.2018, Бюл. № 13. – 6 с.

87. Комаров Г.В. Соединения деталей из полимерных материалов: Учебник / Г.В. Комаров. – Санкт-Петербург: Профессия, 2006. – 592 с.

88. Золотов С.М. Инновационные материалы на основе акриловых полимеров для восстановления и ремонта конструкций объектов строительства и транспорта / С.М. Золотов // Сборник научных трудов “Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта”. – Днепропетровск: ПГАБА, 2004. – Вып. 30. – С. 192-196.

89. Тобольский А. Свойства и структура полимеров: пер. с англ. / А. Тобольский, под ред. Г.Л. Слонимского. - М.: Химия, 1964. – 332 с.

90. Hans J. Fahrenwaldt. Schweißtechnik: Verfahren und Werkstoffe / Hans Fahrenwaldt. – Wiesbaden: Klaus Birk, 1994. - N 3. - 230 p.

91. Лунев И.М. Передовой научно-технический и производственный опыт / И.М. Лунев. - М.: ГОСИНТИ, 1963. - 20 с.

92. Козлов П.М. Применение полимерных материалов в конструкциях, работающих под нагрузкой / П.М. Козлов. − М.: Химия, 1966. − 364 с.

93. Королев А.Я. Клеи и технология склеивания / А.Я. Королев, под ред. Д.А. Кардашова. - М.: Оборонгиз, 1960. – 285 с.

94. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений / А.С. Фрейдин. - М.: Химия, 1981. - 272 с.

95. Kuen Y. Lin. Composite materials: materials, manufacturing, analysis, design and repair / Kuen Y. Lin. - Cambridge: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015. – 232 p.

96. Вильнав Ж.Ж. Клеевые соединения / Ж.Ж Вильнав. - М.: Техносфера, 2007. – 384 с.

97. Басин В.Е. Адгезии полимеров и адгезионные соединения в машиностроении / В.Е. Басин, А.А. Берлин // Механика полимеров. - Рига: Знание, 1969. - № 8. - С. 840-849.

98. Золотов С.М. Реологические исследования и определение адсорбции модифицированных наполнителей метилметакрилата / С.М. Золотов, П.М. Фирсов, К.А. Клиценко // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 161. - С. 157 -169.

99. Фирсов П.М. Составы улучшенных модифицированных акрилових композиций / П.М. Фирсов // Збірник тез доповідей звітної науково-практичної конференції ЛНАУ. – Харків: Луганський національний аграрний університет, 2017. – С. 76-77.

100. Фирсов П.М. Взаимосвязь адгезионной и когезионной прочности со структурой акрилового клея / П.М. Фирсов // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції, присвяченої 95-річному ювілею ЛНАУ. – Харків: Луганський національний аграрний університет, 2016. – С. 55-57.

101. Верхоглядова Т.Ю. Новые клеи на основе модифицированных акриловых смол, их свойства и применение / Т.Ю. Верхоглядова, М.С. Тризно; под ред. В.Г. Каркозова. – Л.: ЛДНТП, 1975. – 92 с.

102. Золотов С.М. Исследование напряженно-деформированного состояния соединения сталь-бетон на акриловых клеях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Матеріали VII Міжнародної наукової конференції “Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд”, (20-21 жовтня 2015 р., Харків). – Харків: ХНУБА, 2015. – С. 109-111.

103. Марек О. Акриловые полимеры / О. Марек, М. Томка; пер. с чеш. В.А. Егорова. – М.: Химия, 1966. – 318 с.

104. Золотов С.М. Адгезионная прочность безанкерного соединения сталь-бетон на модифицированных акриловых клеях при равномерном и неравномерном отрыве / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Зб. наук. пр. “Науковий вісник будівництва”. – Харків: ХНУБА, 2015. – Вип. № 4 (82). - С. 102-106.

105. Чупринін О.О. Основи теорії пружності та пластичності: навчальний посібник для студентів будівельних спеціальностей / О.О. Чупринін, Н.А. Засядько, Л.Н. Шутенко. − Харків: ХНАГХ, 2007. – 135 с.

106. Щоголєв С.А. Теорія рядів: навч.-метод. посібник для підготовки бакалаврів за спец. “Фізика”, “Прикладна фізика”, “Астрономія”/ С.А. Щоголєв. – Одеса: ОНУ імені І.І. Мечникова. – 74 с.

107. Синявська О.О. Ряди Фур’є. Навчальний посібник / О.О. Синявська, П.В. Слюсарчук. – Ужгород: УжНН, 2015. – 70 с.

108. Фирсов П.М. Расчетная модель клеевого соединения сталь-бетон / П.М. Фирсов // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції “Будівництво, реконструкція і відновлення будівель міського господарства”. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2014. – С. 56-61.

109. Голденблат И.И. Нелинейные проблемы теории упругости / И.И. Голденблат. – М.: Наука, 1969. – 336 с.

110. Васильков Г.В. Эволюционные задачи строительной механики. Синергетическая парадигма / Г.В. Васильков. – М.: ЛКИ, 2008. - 320 с.

111. Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. Инженерные методы расчета операций пластической обработки материалов / Г.А. Смирнов-Аляев. - М.: Машгиз, 1961. - 464 с.

112. Колмогоров В.Л. Напряжение, деформация, разрушение / В.Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1970. - 229 с.

113. Колмогоров В.Л. Пластичность и разрушение / В.Л. Колмогоров, А.А. Богатов, Б.А. Мигачев. – М.: Металлургия, 1977. - 336 с.

114. Огороднiков В. А. Чутливість арматурної сталі до швидкості деформування / Огороднiков В.А., Перлов В.Є., Бікс Ю.С. // Вісник Винницького політехнічного інституту. – 2009. - № 4. – С. 73-76.

115. Шмуклер В.С. Новые энергетические принципы рационализации конструкций / В.С. Шмуклер // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 167. - С. 54 -69.

116. Валовой О.І. Критерії міцності бетону для загального випадку напруженого стану / О.І. Валовой, О.Ю. Єрьоменко, М.О. Валовой // Збірник наукових праць ПолтНТУ, Серія “Галузеве машинобудування, будівництво”. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. - № 4 (1). – С. 55-63.

117. Малкин А.Я. Методы измерения механических свойств полимеров / А.Я. Малкин, А.А. Аскадский, В.В. Коврига. - М.: Химия, 1978. - 336 с.

118. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2004. – Изд. 9. - 404 с.

119. Круг Г.К. Статистические методы в инженерных исследованиях / Г.К. Круг. – М.: Высшая школа, 1983. – 216 с.

120. Фирсов П.М. Экспериментальные исследования кратковременной прочности сталеклеевого безанкерного соединения на акрилових модифицированных композициях / П.М. Фирсов // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 167. - С. 4 -17.

121. Firsov P.M. Analysis of various constructive factors influencing the strength of glued steel-concrete joints without anchors / P.M. Firsov // Forum for young researchers “Young researchers in the global world: vistas and challenges”. – Kharkiv: O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 2015. – P. 156-159.

122. Золотов М.С. Влияние конструктивних факторов крепежного узла на прочность клеевого соединения безанкерного крепления / М.С. Золотов, П.М. Фирсов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 30. – С. 127-134.

123. Золотов С.М. Адгезионная прочность клеевых соединений на акриловых модифицированных клеях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Materials of International scientific and practical conference “Perspective trends in scientific research”, (17-22 of October 2015, Bratislava, Slovak Republic). – Bratislava, Slovak Republic: Academic Society of Michal Baludansky, 2015. – Vol. 2 – P. 150-151.

124. Золотов С.М. Анализ прочностных характеристик сталеклеевых соединений на модифицированных акриловых клеях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. - Kosice, Slovak Republic: Academic Society of Michal Baludansky, 2015. - Vol. 3. – P . 143-147.

125. Фирсов П.М. Влияние способов подготовки поверхности бетона к склеиванию на акрилових улучшенных композициях / П.М. Фирсов // Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції "Актуальні проблеми інженерної механіки". – Одеса: ОДАБА, 2017. – С. 160-162.

126. Берген Р.И. Выносливость и ползучесть клеевых железобетонных соединений / Р.И. Берген // Бетон и железобетон. – М.: Стройиздат, 1965. – № 6. - С. 24-28.

127. Берген Р.И. Прочность клеевых соединений на срез / Р.И. Берген // Бетон и железобетон. – М.: Стройиздат, 1973. – № 11. - С. 23-24.

128. Красулин Н.Н. Восстановление железобетонных конструкций, подверженных динамическим нагружениям / Н.Н. Красулин, И.С. Дуров, В.И. Рак // Сб. научн. трудов "Применение полимерных смол в бетонных и железобетонных конструкциях". – Вильнюс: Вильнюсский технический университет, 1978. - С. 84-87.

129. Микульский В.Г. Склеивание бетона / В.Г. Микульский, В.В. Козлов. – М.: Стройиздат, 1975. - 240 с.

130. Ужаков К.М. Прочность легкого бетона на срез при динамическом нагружении / К.М. Ужаков // Сб. научн. трудов "Новое в технологии, расчете и конструировании железобетонных констр-й". – М.: НИИЖБ, 1987. - С. 137-139.

131. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

132. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. – Київ: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 217 с.

133. Мацеевич Т.А. Статистические методы решения технологических задач / Т.А. Мацеевич, В.Г. Соловьев, Л.В, Кирьянова, О.В. Александрова. – М.: НИУ МГСУ, 2015. – 153 с.

134. Каранфилов Т.С. Обзор исследований по прочности и деформативности бетона при многократном приложении нагрузки / Т.С. Каранфилов, Ю.С. Волков // Сб. научн. трудов “Труды Гидропроекта”. - М.: НИИ Гидропроект, 1963. – Вып. 10. – С. 184-196.

135. Корчинский И.Л. Прочность материалов при динамических нагружениях / И.Л. Корчинский, Г.В. Беценева. – М.: Стройиздат, 1966. - 243 с.

136. Бабич В.Е. Напряженно-деформированное состояние и прочность неразрезных железобетонных балок при одноразовых и повторных нагрузках / Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. 05.23.01. – Ровно: НУВГП, 2005. – 213 с.

137. Климпуш М.Д. Дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних балок, підсилених вуглепластиками, за багаторазових навантажень / М.Д. Климпуш, В.Г. Кваша // Вісн. нац. Ун-ту “Львівська Політехніка”. – Львів: ЛПУ, 2009. - №. 655. - С. 148-156.

138. Золотов С.М. Витривалість модифікованих клейових з’єднань при багаторазово повторюваних динамічних навантаженнях / С.М. Золотов, П.М. Фірсов // Збірник наукових праць “Науковий вісник будівництва”. – Харків: ХНУБА, 2018. – Вип. № 1 (91). - С. 185-192. - DOI: 10/29295/2311-7257-2018-91-1-185-192.

139. Золотов С.М. Визначення характеристик міцності сталеклейових з’єднань при багаторазових навантаженнях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов, Хамзе Мухамад // Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції “Ефективні технології в будівництві”, (28-29 березня 2018 р., Київ). – Київ: КНУБА, 2018. – С. 89-91.

140. Гамеляк І.П. Удосконалення методики випробувань на втому бетонних перерізів елементів армованих неметалевою композитною базальтопластиковою арматурою / І.П. Гамеляк, Т.І. Коваль // Науково-

технічний збірник “Автомобільні дороги і дорожнє будівництво”. – Київ: НТУ, 2017. – Вип. 99. – с. 184-201.

141. Кардашов Д.А. Полимерные клеи. Создание и применение / К.А. Кардашев, А.П. Петрова. – М.: Химия, 1983. – 256 с.

142. Фірсов П.М. Визначення характеристик міцності клейового шва вертикального сталебетонного з’єднання при дії зусиль зсуву та відриву / П.М. Фірсов // Збірник матеріалів звітної науково-практичної конференції ЛНАУ. – Харків: ЛНАУ, 2018 – С. 79-82.

143. Сметчику для сметы. Расстояния между средствами крепления стальных трубопроводов [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://smetdlysmet.ru/krepleniya/rasstoyanie-mezhdu-krepleniyami-trub.html.

144. Лазовский Д.Н. Особенности расчета статически неопределимых железобетонных конструкций методом конечных элементов / Д.Н. Лазовский, Д.О. Глухов, О.Н. Лешкевич // Материалы Международной научно-технической конференции “Актуальные проблемы расчета зданий, конструкций и их частей: теория и практика”. – Минск: УП “Технопринт”, 2002 – С. 104-109.

145. Барабаш М.С. Программные комплексы САПФИР и ЛИРА-САПР – основа отечественных BIM-технологий: монография / М.С. Барабаш, Д.В. Медведенко, О.И. Палиенко. – М.: Юрайт, 2013. – 2-е изд.– 366 с.

146. Городецкий А.С. Вопросы расчета конструкций в упругопластической стадии с учетом применения ЭЦВМ / А.С. Городецкий // Труды Первого Всесоюзного совещания “Применение ЭЦВМ в стр. механике”. - Ленинград: Издательство литературы по строительству, 1966. – С. 52-57.

147. Городецкий А.С. К расчету тонкостенных железобетонных конструкций в неупругой стадии / А.С. Городецкий // Сборник трудов НИИСК “Строительные конструкции”. - К.: Будівельник, 1965.- №3. – С.21-27.

148. Васильков Г.В. Эволюционная теория жизненного цикла механических систем. Изд. 2. Синергетика: от прошлого к будущему / Г.В. Васильков. – М.: URSS, 2013. - № 39. - 320 с.

149. Шмуклер В.С. Каркасные системы облегченного типа / В.С. Шмуклер, Ю.А. Климов, Н.П. Бурак. – Харьков: “Золотые страницы”, 2008. - 336 с.

150. Сергуничева Е.М. Построение диаграмм деформирования бетона при растяжении / Е.М. Сергуничева, Э.В. Березина, Н.В. Ершова // Вестник КГАУ: “Математика и информатика”. – Красноярск: КГАУ , 2007. – Вып. 5. - С. 33 -37.

151. Моделирование расслоения в ANSYS Mechanical: Официальный форум ANSYS Club [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://cae-club.ru/videos/modelirovanie-rassloeniya-v-ansys-mechanical.

152. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов / Г.С. Писаренко, В.А. Агаев, А.Л. Квитка, В.Г. Попков, Э.С. Уманский. – Киев: Высшая школа, 1979 – 4-е изд. - 696 с.

153. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила та правила для споруд (EN 1992-1-1:2004, IDT): ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 311 с.

154. Практичний розрахунок залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6-98:2009 в порівнянні з розрахунками за СНиП 2.03.01-84* і EN 1992-1-1 (Eurocode 2); Довідково-учбовий посібник під загальною редакцією В.С. Шмуклера / В.М. Бабаєв, А.М. Бамбура, О.М. Пустовойтова, П.А. Резник, Є.Г. Стоянов, В.С. Шмуклер. – Харків: Золоті сторінки. – 240 с.

154. ДСТУ Б В.2.6-2:2009. Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови. – К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 34 с.

155. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с.

156. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 (ГОСТ 10922-90, MOD). Арматурні та закладні вироби зварні, з’єднання зварні арматури та закладних деталей виробів залізобетонних конструкцій. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 43 с.

157. НПАОП 28.52-1.31-13. Правила охорони праці під час зварювання металів. – К.: Держгірпромнагляд України, 2013. – 27 с.

158. Фирсов П.М. Проектирование безанкерного клеевого сталебетонного соединения на акрилових модифицированных композициях / П.М. Фирсов // Тези доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті”. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 170-171.

159. Високоефективний розпірний анкер “Hilty HSL-3” для високих навантажень: Офіційний сайт [Електронний ресурс] // Режим доступу: https://www.hilti.ua/Анкерные-крепления/Розпірні-анкери/r2813.

ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Статті у фахових виданнях та у виданнях що включені до наукометричних баз:

1. Золотов М.С. Влияние конструктивних факторов крепежного узла на прочность клеевого соединения безанкерного крепления / М.С. Золотов, П.М. Фирсов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 30. – С. 127-134. *(Особистий внесок - виконання експериментальних досліджень: розроблення та виготовлення зразків кріпильних вузлів, виконання замірів, аналіз результатів)*.

2. Золотов С.М. Адгезионная прочность безанкерного соединения сталь-бетон на модифицированных акриловых клеях при равномерном и неравномерном отрыве / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Збірник наукових праць "Науковий вісник будівництва". – Харків: ХНУБА, 2015. – Вип. № 4 (82). - С. 102-106. *(Особистий внесок - виконання експериментальних досліджень: розроблення та виготовлення зразків кріпильних вузлів, виконання замірів, аналіз результатів)*.

3. Золотов С.М. Реологические исследования и определение адсорбции модифицированных наполнителей метилметакрилата / С.М. Золотов, П.М. Фирсов, К.А. Клиценко // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 161. - С. 157 -169. *(Особистий внесок - проведення лабораторних досліджень з визначення технологічних властивостей наповнювачів метилметакрилату і підбору оптимального складу для подальшої модифікації акрилових композицій)*.

4. Фирсов П.М. Экспериментальные исследования кратковременной прочности сталеклеевого безанкерного соединения на акрилових модифицированных композициях / П.М. Фирсов // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 167. - С. 4 -17.

5. Золотов С.М. Витривалість модифікованих клейових з'єднань при багаторазово повторюваних динамічних навантаженнях / С.М. Золотов, П.М. Фірсов // Збірник наукових праць "Науковий вісник будівництва". –

Харків: ХНУБА, 2018. – Вип. № 1 (91). - С. 185-192. - DOI: 10/29295/2311-7257-2018-91-1-185-192. *(Особистий внесок – розробка методики з випробування клейових з'єднань на багаторазово повторювані динамічні навантаження, аналіз результатів експериментальних досліджень)*.

Праці апробаційного характеру:

6. Фирсов П.М. Расчетная модель клеевого соединения сталь-бетон / П.М. Фирсов // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції "Будівництво, реконструкція і відновлення будівель міського господарства", (25 листопада-25 грудня 2014 г., Харків). – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2014. – С. 56-61.

7. Firsov P.M. Analysis of various constructive factors influencing the strength of glued steel-concrete joints without anchors / P.M. Firsov // Forum for young researchers "Young researchers in the global world: vistas and challenges", (25-26 of May 2015, Kharkiv). – Kharkiv: O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 2015. – P. 156-159.

8. Золотов С.М. Адгезионная прочность клеевых соединений на акриловых модифицированных клеях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Materials of International scientific and practical conference "Perspective trends in scientific research", (17-22 of October 2015, Bratislava, Slovak Republic). – Bratislava, Slovak Republic: Academic Society of Michal Baludansky, 2015. – Vol. 2 – P. 150-151. *(Особистий внесок - виконання експериментальних досліджень: розроблення та виготовлення зразків кріпильних вузлів, виконання замірів, аналіз результатів)*.

9. Золотов С.М. Исследование напряженно-деформированного состояния соединения сталь-бетон на акриловых клеях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Матеріали VII Міжнародної наукової конференції "Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд", (20-21 жовтня 2015 р., Харків). – Харків: ХНУБА, 2015. – С. 109-111. *(Особистий внесок - виконання натурних досліджень)*.

10. Фирсов П.М. Прочность и деформативность акриловых модифицированных композиций / П.М. Фирсов // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”, (25-26 листопада 2015 р., Тернопіль). – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – С. 79-80.

11. Фирсов П.М. Взаимосвязь адгезионной и когезионной прочности со структурой акрилового клея / П.М. Фирсов // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції, присвяченої 95-річному ювілею ЛНАУ, (8-9 ноября 2016 г., Харьков). – Харків: ЛНАУ, 2016. – С. 55-57.

12. Firsov Pavlo. Strength and deformation of acrylic modified glues / Pavlo Firsov // Proceedings of International scientific and practical conference “Build Master Class”, (16-18 of November 2016, Kyiv). – Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016. - p. 126-127.

13. Фирсов П.М. Составы улучшенных модифицированных акрилових композиций / П.М. Фирсов // Зб. тез доповідей звітної наук.-практ. конференції ЛНАУ, (21-23 лютого 2017 р., Харків). – Харків: ЛНАУ, 2017. – С. 76-77.

14. Фирсов П.М. Проектирование безанкерного клеевого сталебетонного соединения на акрилових модифицированных композициях / П.М. Фирсов // Тези доповідей VI Міжнародної наук.-техн. конференції “Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті”, (19-21 квітня 2017 р., Харків). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 170-171.

15. Фирсов П.М. Влияние способов подготовки поверхности бетона к склеиванию на акрилових улучшенных композициях / П.М. Фирсов // Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції “Актуальні проблеми інженерної механіки”, (16-19 травня 2017 р., Одеса). – Одеса: ОДАБА, 2017. – С. 160-162.

16. Золотов С.М. Визначення характеристик міцності сталеклейових з’єднань при багаторазових навантаженнях / С.М. Золотов, П.М. Фірсов, Хамзе Мухамад // Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції “Ефективні технології в будівництві”, (28-29 березня 2018 р., Київ). – Київ:

КНУБА, 2018. – С. 89-91. *(Особистий внесок – розробка методики з випробування клейових з'єднань на багаторазово повторювані динамічні навантаження, аналіз результатів експериментальних досліджень)*.

17. Фірсов П.М. Визначення характеристик міцності клейового шва вертикального сталебетонного з'єднання при дії зусиль зсуву та відриву / П.М. Фірсов // Збірник матеріалів звітної науково-практичної конференції ЛНАУ, (20-23 лютого 2018 р., Харків). – Харків: ЛНАУ, 2018 – С. 79-82.

Публікації, що додатково відображають матеріали дисертації:

18. Золотов С.М. Анализ прочностных характеристик сталеклеевых соединений на модифицированных акриловых клеях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. - Kosice, Slovak Republic: Academic Society of Michal Baludansky, 2015. - Vol. 3. – P . 143-147. *(Особистий внесок - виконання експериментальних досліджень: розроблення та виготовлення зразків кріпильних вузлів, виконання замірів, аналіз результатів)*.

Патенти:

19 Патент на корисну модель № 109770. Україна. МПК C08L 33/12 (2006.01). Акрилова композиція / С.М. Золотов, П.М. Фірсов, В.К. Жданюк, П.А. Білим; власник ХНУМГ імені О.М. Бекетова. - № u 2016 01208; Заявл. 12.02.2016; Опубл. 12.09.2016, Бюл. № 17. – 6 с. *(Особистий внесок - патентний пошук, проведення досліджень, формулювання висновків)*.

20. Патент на корисну модель № 120256. Україна. МПК(2017.01) C08L 33/12 (2006.01), C09J 4/00, C08K 5/17 (2006.01), C04B 15/06 (2006.01). Акрилова композиція / С.М. Золотов, П.М. Фірсов, В.К. Жданюк, П.А. Білим; власник ХНУМГ імені О.М. Бекетова. - № u 2017 04402; Заявл. 03.05.2017; Опубл. 25.10.2017, Бюл. № 20. – 6 с. *(Особистий внесок - патентний пошук, розробка складу, проведення досліджень)*.

21. Патент України на винахід № 117314. Україна. МПК C08L 33/12 (2006.01), C04B 24/24 (2006.01), C04B 111/72 (2006.01). Акрилова композиція / С.М. Золотов, П.М. Фірсов, В.К. Жданюк, П.А. Білим; власник ХНУМГ імені О.М. Бекетова. - № а 2017 04337; Заявл. 03.05.2017; Опубл. 10.07.2018, Бюл. № 13. – 6 с. *(Особистий внесок - патентний пошук, розробка складу, проведення досліджень)*.

Відомості про апробацію результатів дисертації

1. Фирсов П.М. Расчетная модель клеевого соединения сталь-бетон / П.М. Фирсов // Материалы IV Международной научно-технической интернет-конференции “Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства”, (25 ноября-25 декабря 2014 г., Харьков). – Харьков: ХНУГХ им. А.Н. Бекетова, 2014. – С. 56-61. *(Заочна участь)*.

2. Firsov P.M. Analysis of various constructive factors influencing the strength of glued steel-concrete joints without anchors / P.M. Firsov // Forum for young researchers “Young researchers in the global world: vistas and challenges”, (25-26 of May 2015, Kharkiv). – Kharkiv: O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 2015. – P. 156-159. *(Особиста участь)*.

3. Золотов С.М. Адгезионная прочность клеевых соединений на акриловых модифицированных клеях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Materials of International scientific and practical conference “Perspective trends in scientific research”, (17-22 of October 2015, Bratislava, Slovak Republic). – Bratislava, Slovak Republic: Academic Society of Michal Baludansky, 2015. – Vol. 2 – P. 150-151. *(Заочна участь)*.

4. Золотов С.М. Исследование напряженно-деформированного состояния соединения сталь-бетон на акриловых клеях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов // Материалы VII Международной научной конференции “Ресурс и безопасность эксплуатации конструкций, зданий и сооружений”, (20-21 октября 2015 г., Харьков). – Харьков: ХНУСА, 2015. – С. 109-111. *(Особиста участь)*.

5. Фирсов П.М. Прочность и деформативность акриловых модифицированных композиций / П.М. Фирсов // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”, (25-26 листопада 2015 р., Тернопіль). – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – С. 79-81. *(Особиста участь)*.

6. Фирсов П.М. Взаимосвязь адгезионной и когезионной прочности со структурой акрилового клея / П.М. Фирсов // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції, присвяченої 95-річному ювілею ЛНАУ, (8-9 ноября 2016 г., Харьков). – Харків: ЛНАУ, 2016. – С. 55-57. *(Особиста участь)*.

7. Firsov Pavlo. Strength and deformation of acrylic modified glues / Pavlo Firsov // Proceedings of International scientific and practical conference “Build Master Class”, (16-18 of November 2016, Kyiv). – Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture, 2016. - p. 126-127. *(Заочна участь)*.

8. Фирсов П.М. Составы улучшенных модифицированных акрилових композиций / П.М. Фирсов // Збірник тез доповідей звітної науково-практичної конференції ЛНАУ, (21-23 лютого 2017 р., Харків). – Харків: ЛНАУ, 2017. – С. 76-77. *(Особиста участь)*.

9. Фирсов П.М. Проектирование безанкерного клеевого сталебетонного соединения на акрилових модифицированных композициях / П.М. Фирсов // Тези доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті”, (19-21 квітня 2017 р., Харків). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. – С. 170-171. *(Особиста участь)*.

10. Фирсов П.М. Влияние способов подготовки поверхности бетона к склеиванию на акрилових улучшенных композициях / П.М. Фирсов // Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції “Актуальні проблеми інженерної механіки”, (16-19 травня 2017 р., Одеса). – Одеса: ОДАБА, 2017. – С. 160-162. *(Заочна участь)*.

11. Золотов С.М. Визначення характеристик міцності сталеклейових з’єднань при багаторазових навантаженнях / С.М. Золотов, П.М. Фирсов, Хамзе

Мухамад // Матеріали ІІІ Міжнародної науково-технічної конференції “Ефективні технології в будівнитцві”, (28-29 березня 2018 р., Київ). – Київ: КНУБА, 2018. – С. 89-91. *(Заочна участь)*.

12. Фірсов П.М. Визначення характеристик міцності клейового шва вертикального сталебетонного з’єднання при дії зусиль зсуву та відриву / П.М. Фірсов // Збірник матеріалів звітної науково-практичної конференції ЛНАУ, (20-23 лютого 2018 р., Харків). – Харків: ЛНАУ, 2018 – С. 79-82. *(Особиста участь)*.

ДОДАТОК Б
ПАТЕНТИ

УКРАЇНА

ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 109770

АКРИЛОВА КОМПОЗИЦІЯ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **12.09.2016.**

В.о. Голови Державної служби
інтелектуальної власності України А.А.Малиш

Державна служба інтелектуальної власності України
Ідентифікаційний код 37552556
№1

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

УКРАЇНА (19) **UA** (11) **109770** (13) **U**

(51) МПК
C08L 33/12 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2016 01208**
(22) Дата подання заявки: **12.02.2016**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **12.09.2016**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **12.09.2016, Бюл.№ 17**

(72) Винахідник(и):
Золотов Сергій Михайлович (UA),
Фірсов Павло Михайлович (UA),
Жданюк Валерій Кузьмович (UA),
Білим Павло Анатолійович (UA)

(73) Власник(и):
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О.М. БЕКЕТОВА,
вул. Революції, 12, м. Харків, 61002 (UA)

(54) АКРИЛОВА КОМПОЗИЦІЯ

(57) Реферат:

Акрилова композиція для безанкерного кріплення металевих конструкцій з бетоном містить очищений від стабілізатора акриловий мономер, емульсійний полімер акрилового ряду, отверджувач - перекис бензоїлу, прискорювач полімеризації - диметиланілін і наповнювач - кварцовий пісок. Як очищений від стабілізатора акриловий мономер містить метилметакрилат. Як полімер акрилового ряду - емульсійний поліметилметакрилат.

UA 109770 U

УКРАЇНА

ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 120256

АКРИЛОВА КОМПОЗИЦІЯ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **25.10.2017.**

Заступник міністра економічного розвитку і торгівлі України М.І. Тітарчук

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ ІДЕНТИФІКАЦІЙНИЙ КОД 37508596

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **120256** (13) **U**

(51) МПК (2017.01)
C08L 33/12 (2006.01)
C09J 4/00
C08K 5/17 (2006.01)
C04B 14/06 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2017 04402**
(22) Дата подання заявки: **03.05.2017**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.10.2017**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.10.2017, Бюл.№ 20**

(72) Винахідник(и):
Золотов Сергій Михайлович (UA),
Фірсов Павло Михайлович (UA),
Жданюк Валерій Кузьмович (UA),
Білим Павло Анатолійович (UA)

(73) Власник(и):
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О.М. БЕКЕТОВА,
вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, 61002 (UA)

(54) АКРИЛОВА КОМПОЗИЦІЯ

(57) Реферат:

Акрилова композиція з підвищеною теплостійкістю для безанкерного кріплення металевих конструкцій з бетоном містить очищений від стабілізатора акриловий мономер, полімер акрилового ряду - емульсійний поліметилметакрилат, отверджувач - перекис бензоїлу, прискорювач полімеризації - диметиланілін, і наповнювач - кварцовий пісок. Як очищений від стабілізатора акриловий мономер містить алілметакрилат.

UA 120256 U

УКРАЇНА

ПАТЕНТ

НА ВИНАХІД

№ 117314

АКРИЛОВА КОМПОЗИЦІЯ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи **10.07.2018.**

Заступник міністра економічного розвитку і торгівлі України М.І. Тітарчук

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ ІДЕНТИФІКАЦІЙНИЙ КОД 37508596

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **117314** (13) **C2**

(51) МПК
C08L 33/12 (2006.01)
C04B 24/24 (2006.01)
C04B 111/72 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **a 2017 04337**
(22) Дата подання заявки: **03.05.2017**
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **10.07.2018**
(41) Публікація відомостей про заявку: **25.10.2017, Бюл.№ 20**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **10.07.2018, Бюл.№ 13**

(72) Винахідник(и):
Золотов Сергій Михайлович (UA),
Фірсов Павло Михайлович (UA),
Жданюк Валерій Кузьмович (UA),
Білим Павло Анатолійович (UA)

(73) Власник(и):
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О.М. БЕКЕТОВА, вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, 61002 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
UA70656, A, 15.10.2004
UA84979, C2, 10.12.2008
UA48964, U, 12.04.2010
GB1478367, A, 29.06.1977
Лосев И.П., Петров Г.С. Химия искусственных смол - Москва-Ленинград: Госхимиздат, 1951. - 432 с.
UA109770, U, 12.09.2016
UA20538, A, 27.02.1998

(54) АКРИЛОВА КОМПОЗИЦІЯ

(57) Реферат:

Заявлена акрилова композиція, яку застосовують як клейовий склад безанкерного кріплення нагрітих металевих опорних елементів виробничого технологічного обладнання з бетонною основою, зокрема кріплення опорних елементів станів для розкочування методом холодної прокатки смуг з чорних і кольорових металів з поетапною термічною обробкою. Композиція містить очищений від стабілізатора алілметакрилат, полімер акрилового ряду, отверджувач, прискорювач полімеризації, кварцовий пісок - решта.

UA 117314 C2

ДОДАТОК В
НАУКОВО-ДОСЛІДНІ ВПРОВАДЖЕННЯ

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Генеральний директор БК "Укрпромбуд"
_____ О.Ю. Супрун
"29" вересня 2017 р.

АКТ
впровадження результатів науково-дослідних робіт

Даним актом підтверджується, що результати науково-дослідної роботи аспіранта Фірсова Павла Михайловича, яка розроблена у Харківському національному університеті міського господарства імені О.М. Бекетова, були впроваджені на підприємстві БК "Укрпромбуд" у період з 25 вересня 2017 року по 28 вересня 2017 року при промисловому переобладнанні виробничих цехів підприємства.

1. Вид впроваджених результатів: *безанкерне клейове кріплення промислового обладнання насосної установки підвищення тиску марки "KSB" та насосної станції марки Sprut AUQB 60 акриловими модифікованими композиціями*
(вироби, технології)

2. Характеристика масштабу впровадження: *одиничне*
(одиничне, партія, масове, серійне)

3. Форма впровадження: *впроваджена акрилова композиція при використанні забезпечує якісне підвищення адгезійного контакту металу з бетоном (в якості очищеного від стабілізатору акрилового мономеру містить метилметакрилат, а в якості полімеру акрилового ряду – емульсійний поліметилметакрилат*
(склад або метод)

4. Новизна результатів науково-дослідних робіт: *розроблена модифікована акрилова композиція якісно нова та захищена відповідним патентом України*

5. Очікуваний економічний ефект: *фактичний економічний ефект – 87 грн/м^2 (вісімдесят сім гривень на метр квадратний) заощаджено у порівнянні з іншими конструкційними методами кріпленнями технологічного обладнання*
(цифрами, прописом)

6. Висновки та пропозиції щодо подальшого використання розробки: *у порівнянні з анкерним методом з'єднання було заощаджено близько 0,4 м^3 бетону та 42 одиниці металевих кріплень (закладні деталі, анкери, болти тощо), що в свою чергу дозволяє значно скоротити терміни установки обладнання і витрату трудових ресурсів*

Від БК "Укрпромбуд":

Голова комісії, керівник виробництва О.П. Старченко

Головний інженер Є.В. Пустовой

Головний бухгалтер А.І. Зубріліна

Від ХНУМГ імені О.М. Бекетова:

Науковий керівник, к.т.н., доцент С.М. Золотов

Відповідальний виконавець, аспірант кафедри ТіБМ П.М. Фірсов

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Директор ТОВ "Будцентр Витязь"
_____ / А.Е. Аділов /
"10" листопада 2017 р.

АКТ
о впровадженні на ТОВ "Будцентр Витязь" результатів дисертаційної роботи аспіранта ХНУМГ імені О.М. Бекетова Фірсова П.М.
"Короткочасна міцність та напружено-деформований стан клейових сталебетонних з'єднань на акрилових модифікованих клеях"

Акт складений комісією у складі:
- Голова комісії: директор ТОВ "Будцентр Витязь" Аділов А.Е.
- Члени комісії: головний бухгалтер ТОВ "Будцентр Витязь" Романенко О.В., заступник директора з виконанням обов'язків головного інженера ТОВ "Будцентр Витязь" Генджадзе Л.Д., доцент кафедри БК ХНУМГ імені О.М. Бекетова Золотов С.М., аспірант кафедри ТіБМ ХНУМГ імені О.М. Бекетова Фірсов П.М.

1. Процес впровадження. Цим актом ТОВ "Будцентр Витязь" підтверджує, що при переобладнанні виробничих приміщень підприємства, в період з 07.11.2017 р. по 10.11.2017 р., були впроваджені окремі положення наукового дослідження Фірсова П.М., а саме безанкерне клейове кріплення фуговально-рейсмусного верстату марки Протон РС-330 на акрилових модифікованих клеях за технологією та інженерними розрахунками, які запропоновані в дисертаційній роботі. Даний склад акрилового клею захищений відповідним патентом України (Пат. на корисну модель 109770 Україна, МПК C08L 33/12 (2006.01).

2. Результати впровадження. Підтверджена економічна доцільність використання безанкерного клейового з'єднання із використанням акрилових композицій. Застосування акрилового клею для поточних ремонтних робіт дозволило якісно провести роботи з кріплення технологічного обладнання та заощадити матеріальні ресурси (≈57 грн/м^2) за рахунок скорочення технологічних операцій і зменшення трудовитрат.

3. Висновки і пропозиції, щодо подальшого використання розробки.

Розроблена технологія прийнята і рекомендована до впровадження при кріпленні виробничого обладнання та інженерних комунікацій.

Голова комісії: А.Е. Аділов

Члени комісії: О.В. Романенко

Л.Д. Генджадзе

С.М. Золотов

П.М. Фірсов

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Директор ТОВ "Будівельник"
_____ М.В. Харнам
"9" листопада 2017 р.

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "БУДІВЕЛЬНИК" №31061880 місто Харків

АКТ
впровадження наукових розробок
аспіранта ХНУМГ імені О.М. Бекетова
Фірсова Павла Михайловича

Даним актом ТОВ "Будівельник" підтверджує, що результати дисертаційної роботи аспіранта Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова Фірсова П.М. були впроваджені при відновлювальному переоснащенні силових електроліній у складських приміщеннях підприємства.

За допомогою акрилових модифікованих клеїв у період з 30 жовтня 2017 року по 3 листопада 2017 року було здійснено кріплення 16 одиниць рожкових прямолінійних кронштейнів типу Р2В11 під прокладку електрокабельних ліній по бетонних стінах складського приміщення. Використання поверхневої приклейки за допомогою акрилового клею було обумовлене тим, що при улаштуванні бетонних стін не були запроектовані закладні деталі для кріплення відповідних електрокабельних конструкцій. Даний тип безанкерного кріплення дозволив провести монтаж електричних комунікацій у найкоротші терміни.

Даний склад акрилового клею захищений відповідним патентом України.

Застосування акрилового клею для поточних ремонтних будівельних робіт дозволило якісно і в потрібний термін провести роботи з переоснащення силових електроліній та заощадити матеріальні ресурси (46 грн/м^2) за рахунок скорочення технологічних операцій і зменшення трудовитрат.

Від ТОВ "Будівельник":

Головний інженер С.С. Гребенчук

Головний бухгалтер А.Н. Костюк

Від ХНУМГ імені О.М. Бекетова:

Науковий керівник, к.т.н., доцент С.М. Золотов

Відповідальний виконавець, аспірант кафедри ТіБМ П.М. Фірсов

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Проректор з наукової роботи
ХНУМГ імені О.М. Бекетова
доктор технічних наук, професор
_____ М.К. Сухонос

ДОВІДКА
про впровадження матеріалів дисертаційної роботи Фірсова П.М.
“Короткочасна міцність та напружено-деформований стан клейових сталебетонних з’єднань на акрилових модифікованих клеях”
в навчальний процес ХНУМГ імені О.М. Бекетова

В дисертаційній роботі аспіранта кафедри ТіБМ Фірсова П.М. досліджена короткочасна міцність клейового з’єднання сталь-бетон при різних видах навантаження та на підставі експериментальних даних розроблені конструкції кріплення промислового обладнання до бетонних та з/б будконструкцій.

Наукові результати дисертаційної роботи Фірсова П.М. впроваджено в навчальний процес кафедр теоретичної і будівельної механіки (ТіБМ) будівельних конструкцій (БК) ХНУМГ імені О.М. Бекетова. Теоретичні та експериментальні результати, які було отримано внаслідок проведення дослідження, використані у курсах лекцій, на практичних та лабораторних заняттях із дисциплін “Будівельна механіка” та “Будівельні конструкції”. В рамках навчального процесу студенти були ознайомлені з основними фізико-механічними та хімічними властивостями акрилового клею, методами модифікації його складу, галузями застосування в будівництві тощо. Також студентам була надана детальна інформація щодо улаштування безанкерного кріплення технологічного обладнання та інженерних комунікацій до бетонних і залізобетонних конструкцій шляхом поверхневого приклеювання та різноманітних технологічних факторів, які впливають на міцність з’єднання.

Результати досліджень Фірсова П.М., які наведені у дисертаційній роботі, мають практичну значимість при підготовці бакалаврів за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія”.

Декан факультету ТСТ, к.т.н., доцент _____ М.І. Шпіка

Завідувач кафедри теоретичної і
будівельної механіки, д.т.н., професор _____ В.П. Шпачук

Завідувач кафедри будівельних
конструкцій, д.т.н., професор _____ В.С. Шмуклер

Засвідчую:

Вчений секретар
ХНУМГ імені О.М. Бекетова _____ Д.В. Тугай

ДОДАТОК Г

ЛІЦЕНЗІЯ №1/1095

На використання програмного забезпечення:
***«ЛІРА версія 10.6 конфігурація FULL** (ліцензія викладача)»*

Ліцензіар: **ТОВ «ПРАЙМ КАД»**
Україна, 03037, м. Київ, вул. Петра Радченка, буд.27

Ліцензіат: **Харківський національний університет міського господарства імені О.М.Бекетова**
Україна, 61002, м. Харків, Київський р-н, вул.Революції, буд. 12

Кількість робочих місць:	**Одне**
Ключ №	**10161095**
Ключ ID	**861761755**

Підстава:

Ліцензійний договір № 10 від 14 грудня 2016 року

Виконавчий директор
ТОВ «ПРАЙМ КАД», к.т.н.
_____ Ю.Д. Гераймович
«15» грудня 2016 р.