

Міністерство освіти і науки України

Українська державна академія залізничного транспорту

**ШИШКІН ЕДУАРД АНАТОЛІЙОВИЧ**



УДК 69.059.32

**НАПРУЖЕНО - ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН АНКЕРУВАННЯ  
АРМАТУРНИХ СТЕРЖНІВ СЕРПОПОДІБНОГО ПРОФІЛЮ  
АКРИЛОВИМИ КЛЕЯМИ ПРИ ДІЇ СТАТИЧНОГО  
ВИСМИКУВАЛЬНОГО ЗУСИЛЛЯ**

Спеціальність 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті міського господарства імені О.М. Бекетова Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор  
Золотов Михайло Сергійович,  
Харківський національний університет міського  
господарства імені О.М. Бекетова, професор  
кафедри теоретичної та будівельної механіки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Семко Олександр Володимирович,  
Полтавський національний технічний університет  
ім. Юрія Кондратюка, завідувач кафедри архітектури  
та міського будівництва;

кандидат технічних наук, доцент  
Яровий Сергій Миколайович,  
ПрАТ «Проектний та науково-дослідний інститут  
«Харківський ПромбудНДІпроект» Міністерства  
регіонального розвитку та будівництва України,  
заступник директора з наукової роботи

Захист відбудеться «6» червня 2014р. о 16<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий «29» квітня 2014р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
к.т.н., доцент



Г.Л. Ватуля

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Клейове анкерування арматурних стержнів є одним з перспективних напрямків у новому будівництві, реконструкції й капітальному ремонті будівель і споруд. Такі з'єднання одержують все більш широке застосування в будівництві. Перспективність застосування анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю, особливо класу А500С – найбільш використовуваному в будівництві, акриловими клеями обумовлена великими обсягами реконструкції будівельних конструкцій та нового будівництва будівель та споруд, які характеризуються відсутністю складних підготовчих процесів, істотним скороченням витрат сталі та трудових витрат, строків будівництва й реконструкції будівель і споруд (із найменшими витратами).

Необхідною умовою успішного анкерування арматурних стержнів в бетон з використанням клеїв, у тому числі акрилових, є комплексне рішення науково-дослідного завдання, що включає експериментальне дослідження їх короткочасної та тривалої міцності, визначення напружено-деформованого стану та створення методики інженерного розрахунку зазначених з'єднань та їхнього проектування.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана за 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». Номер державної реєстрації 0111U006207.

**Мета й завдання дослідження.** Метою даної роботи є визначення напружено-деформованого стану анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю класу А500С у бетон акриловими клеями різних складів у випадку дії на анкер короткочасного та тривалого висмикувального зусилля.

Досягнення поставленої мети обумовило вирішення наступних завдань:

- розробити математичну модель, що дозволяє описати напружено-деформований стан анкерного з'єднання на акриловому клеї у вигляді анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю в бетоні при дії на нього короткочасного та тривалого висмикувального зусилля;

- виконати теоретичні дослідження напружено-деформованого стану в елементах анкерного з'єднання при короткочасній та довгостроковій дії висмикувального зусилля, залежно від фізико-механічних властивостей акрилового клею, віку акрилового клею, геометрії анкерного з'єднання та статичного висмикувального зусилля;

- установити напруження в арматурному стержні по його закладеній у бетон частині, на контактах клей-анкер при дії на нього розрахункового статичного висмикувального зусилля;

- експериментально дослідити розподіл напружень у конструктивних елементах анкерного з'єднання й на контактах між ними і зрівняти з теоретичними дослідженнями;

– виконати порівняльний аналіз отриманих експериментальних даних з теоретичними дослідженнями напружено-деформованого стану клейового анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю класу А500С;

– виконати розрахунок клейового анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю класу А500С;

– провести дослідно-промислове впровадження клейового анкерування арматурних стержнів класу А500С для з'єднання, кріплення, ремонту, відновлення і зміцнення бетонних і залізобетонних конструкцій.

**Об'єкт дослідження** – анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю класу А500С акриловими клеями різних складів.

**Предмет дослідження** – напружено-деформований стан клейового анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю класу А500С на акрилових клеях при короткочасній і тривалій дії висмикувального зусилля.

**Методи дослідження** – теоретичні дослідження, методи теорії пружності, експериментальні дослідження міцності та деформативності клейового анкерування арматурного стержня серпоподібного профілю класу А500С при дії на нього короткочасного навантаження, методи математичної статистики при аналізі експериментальних досліджень.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

– вперше розроблена математична модель, що описує напружено-деформований стан анкерного з'єднання на акриловому клеї у вигляді анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю в бетоні при дії на нього короткочасного та тривалого висмикувального зусилля;

– розв'язана вісесиметрична задача теорії пружності щодо розподілу напружень і переміщень в елементах з'єднання анкер - клей - бетонний масив при дії на арматурний стержень серпоподібного профілю класу А500С короткочасного та тривалого висмикувального зусилля;

– чисельними дослідженнями визначені напруження й деформації в клейовому шарі на контактах клей-анкер і клей-бетон арматурних стержнів серпоподібного профілю класу А500С, а також у бетоні при дії короткочасного та тривалого висмикувального зусилля з урахуванням різних факторів: фізико-механічних властивостей акрилового клею, геометричних розмірів анкерного з'єднання та з урахуванням віку акрилового клею;

– встановлено розподіл напружень у бетонному масиві залежно від відстані арматурного стержня серпоподібного профілю класу А500С від обрізу будівельних конструкцій;

– визначено оптимальну глибину закладення арматурного стержня серпоподібного профілю класу А500С при клейовому анкеруванні;

– отримано експериментальні дані напружено-деформованого стану клейового анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю класу А500С при дії короткочасного висмикувального зусилля.

**Практичне значення одержаних результатів.** Використання у будівельній практиці анкерування в бетон арматурних стержнів акриловими клеями різних складів забезпечить надійність роботи бетонних і залізобетонних конструкцій при значній економії трудових і матеріальних витрат, а також зменшення строків ремонту, реконструкції, будівництва будівель і споруд.

Визначено реальну можливість застосовувати в будівництві анкерування арматурних стержнів класу А500С акриловими клеями. Результати дисертаційної роботи дозволяють виконувати розрахунок і конструювання анкерного з'єднання на акрилових клеях при дії на нього статичного висмикувального зусилля.

Основні результати дисертаційної роботи були впроваджені ПП «Мозаїка» при посиленні фундаментів житлового будинку в м. Кіровське Донецької області, а також зміні конфігурації фундаменту під потужний котел, при реконструкції котельні в м. Єнакієве Донецької області.

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні наукові результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У наукових роботах, зазначених у списку публікацій, що виконані зі співавторами, здобувачу належать такі результати досліджень: проведено аналіз конструктивних рішень анкерного з'єднання з використанням арматурного прокату класу А500С і акрилового клею при короткочасних і тривалих навантаженнях [1, 16, 17]; виконано обґрунтування використання вісесиметричної задачі теорії пружності і її рішення для теоретичного дослідження напружено-деформованого стану клейового анкерування арматурних стержнів акриловими клеями у випадку дії на анкер короткочасного та тривалого висмикувального зусилля [10, 14]; виконані теоретичні дослідження напружено-деформованого стану клейового анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю при дії короткочасного та тривалого висмикувального зусилля [2, 3, 4, 5, 7, 8, 12]; отримані експериментальні дані щодо короткочасної міцності та деформативності анкерного з'єднання акриловими клеями у випадку закладення у бетонний масив [6, 9, 13, 15]; розроблено склад акрилового клею [11].

**Апробація результатів дисертації.** Результати теоретичних та експериментальних досліджень доповідалися на науково-технічних конференціях різного рівня (2011 – 2013 р.): V-ій міжнародній науковій конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд» (Харків: ХДТУБА, 18 – 19 жовтня 2011 р.); X-ій міжнародній науково-технічній інтернет - конференції «Застосування пластмас у будівництві та міському господарстві» (Харків: ХНАМГ, 25 листопада – 25 грудня 2012 р.); XXXVI-ій науково-технічній конференції викладачів, аспірантів і співробітників Харківської національної академії міського господарства (Харків: ХНАМГ, 21 – 23 квітня 2012 р.); III-ій міжнародній науково-технічній конференції «Будівництво, реконструкція та відновлення будинків міського господарства» (Харків: ХНАМГ, 15 квітня – 15 травня 2012 р.); X-ій міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення» (м. Ялта: ПДАБА, 10 – 14 вересня 2012 р.); VII-ій всеукраїнській науково-технічній конференції – «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» (м. Рівне: НУВПГ, 27 – 31 травня 2013 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Ресурсозберігаючі технології й ефективне використання місцевих ресурсів у будівництві» (Новосибірськ, Росія: НГАУ, 5 – 8 лютого 2013 р.); X-ій європейській конференції молодих учених і фахівців «TRANSCOM 2013» (Жиліна, Словацька Республіка: University of Žilina, 24 – 26 червня 2013

p.); 5th International Academic Conference of Young Scientists «Geodesy, Architecture and Construction 2013» (м. Львів: НУ«Львівська політехніка», 21 – 23 листопада 2013 р.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 17 наукових праць, з них: 10 статей у спеціалізованих виданнях, рекомендованих МОН України, 1 стаття за кордоном, 6 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях та отримано 1 патент України на корисну модель.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел з 175 найменування і 3 додатків. Повний обсяг дисертації – 171 сторінок, у тому числі: 132 сторінок основного тексту, 53 рисунків, 11 таблиць. У додатках містяться вирази для розрахунку напружень і переміщень, опис програмного забезпечення для розрахунку напружено-деформованого стану в елементах анкерного з'єднання, акти впровадження результатів дослідження.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, розкрито наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, а також особистий вклад здобувача і апробацію результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** здійснено огляд літератури щодо досліджень в області анкерування арматурних стержнів за допомогою клеїв, що вказує на експериментальний характер більшості робіт. Хоча розв'язанню деяких вісесиметричних задач теорії пружності, які описують напружено-деформований стан анкерних з'єднань, присвячено ряд робіт, теоретичні питання анкерування ще не отримали належної уваги.

Анкерування арматурних стержнів акриловими клеями, що добре зарекомендувало себе на практиці, потребує дослідження напружено-деформованого стану при короткочасному та тривалому навантаженні. Цим і визначається актуальність роботи.

Дослідженню арматурних стержнів і кріплення будівельних конструкцій за допомогою клеїв присвячені роботи Александряна Е.Е., Бабича Є.М., Баженова Ю.М., Ексарьова А.Д., Золотова М.С., Ігоніна Л.А., Іванова М.С., Кривого Е.А., Кутіна Ю.Ф., Лисенко В.А., Максимова Ю.В., Микульського В.Г., Патуроева В.В., Когана Б.І., Черкаського І.Г., Шагіна О.Л., Шмуклера В.С., Шутенка Л.М., Canovas M.F., Kunze W., Pham Minh Ha, Pincus M.A., Rehm G., та ін.

Огляд наукової літератури, присвяченої акриловим клеям, авторами якої є Гарбуз А.О., Золотов М.С., Золотов С.М., Склярів В.А., Шутенко Л.М. та ін., показав наступне. Ці клеї мають високі адгезійні й когезійні властивості. Використання їх для анкерування різних сталевих стержнів дозволяє створити міцне і надійне анкерне з'єднання. Значна кількість робіт присвячена вивченню напружено-деформованого стану і міцності з'єднань при закладанні в бетон арматурних стержнів класу АІІІ.

Визначенню напруженого стану обетонованого стержня в постановці вісесиметричної задачі теорії пружності присвячені роботи Іванова М.С., Когана Б.І., Фрайфельда С.Е.

Достатня увага в дисертаційній роботі приділяється порівнянню, аналітичним дослідженням арматурного прокату класу А500С згідно ДСТУ 3760:2006 і класу А-III за ГОСТ 5781-82, ГОСТ 10884-94, наведені переваги та недоліки одного та іншого прокату.

На підставі виконаного аналізу стану питання сформульовані завдання дослідження.

У другому розділі досліджено напружено-деформований стан клейового анкерування арматурних стержнів при дії короткочасного та тривалого висмикувального зусилля. Для одержання аналітичного апарату досліджень поставлена і розв'язана вісесиметрична задача теорії пружності. При цьому прийнята геометрична схема, що являє собою тришарову систему: «бетонна оболонка - клейова оболонка - арматурний стержень» (рис. 1). Проведені дослідження Бабича Є.М., Золотова М.С., Ткаченка Р.Б., Холмянського М.М., Шмуклера В.С., Шутенка Л.М. встановили, що ця схема наділяється наступними властивостями:

- розміри клейової оболонки малі у порівнянні з розмірами бетонної оболонки;
- арматурний стержень, клейова і бетонна оболонки працюють пружно;
- когезійна міцність акрилового клею вище адгезійної міцності контакту клей-бетон.

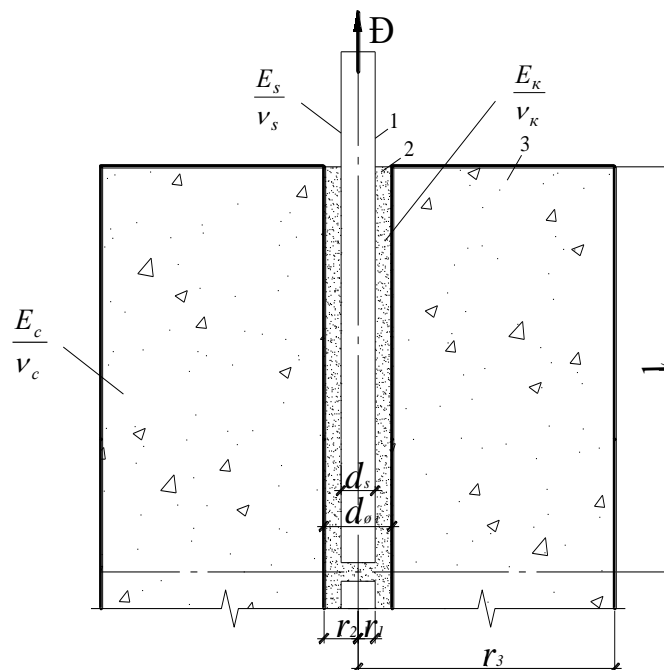


Рис. 1. Геометрична схема анкерного з'єднання:

1 – арматурний стержень; 2 – шар акрилового клею; 3 – бетонний циліндр

Деформації клейового анкера при прикладенні до стержня висмикувального зусилля носять лінійний характер аж до появи тріщин у контактному (клейовому) шарі. А при глибинах закладення арматурного стержня в бетон на 17,5 діаметрів і більше лінійний характер деформацій

спостерігався аж до досягнення межі пружності на завантаженому кінці анкера. На цій підставі напружено-деформований стан анкерного з'єднання може бути описаний залежностями теорії пружності.

Як показали експериментальні й теоретичні дослідження зазначеного з'єднання, при тривалих експлуатаційних навантаженнях напруження в сталевому анкері і бетонному циліндрі нижче напружень, що приводять до значних деформацій повзучості. Рівень напружень у клейовому шарі при цих навантаженнях викликає деформації повзучості, які мають лінійний характер. Це свідчить про те, що в області експлуатаційних навантажень поведінка акрилового клею добре узгоджується з лінійною теорією повзучості. Тому правомірним є застосування вісесиметричної задачі теорії пружності для дослідження напружено-деформованого стану анкерного з'єднання на акрилових клеях при впливі на анкер тривалого висмикувального зусилля.

Враховуючи, що анкер знаходиться в необмеженому масиві, відповідно до розрахункової схеми (рис. 2), напружено-деформований стан анкерного з'єднання на акриловому клеї запропоновано отримати в результаті вирішення вісесиметричної задачі теорії пружності для тришарового тіла: сталевий циліндр – анкер, порожнистий циліндр – шар акрилового клею, зовнішній циліндр – бетонний масив. При цьому приймається рівень напруженого стану анкерного з'єднання при експлуатаційних навантаженнях таким, що складові його матеріали можна вважати пружними тілами. Вирішення поставленої задачі дає можливість розглянути основні питання анкерування й тривалості дії висмикувального зусилля, залежність напружено-деформованого стану від діаметра анкера й товщини клейового шару.

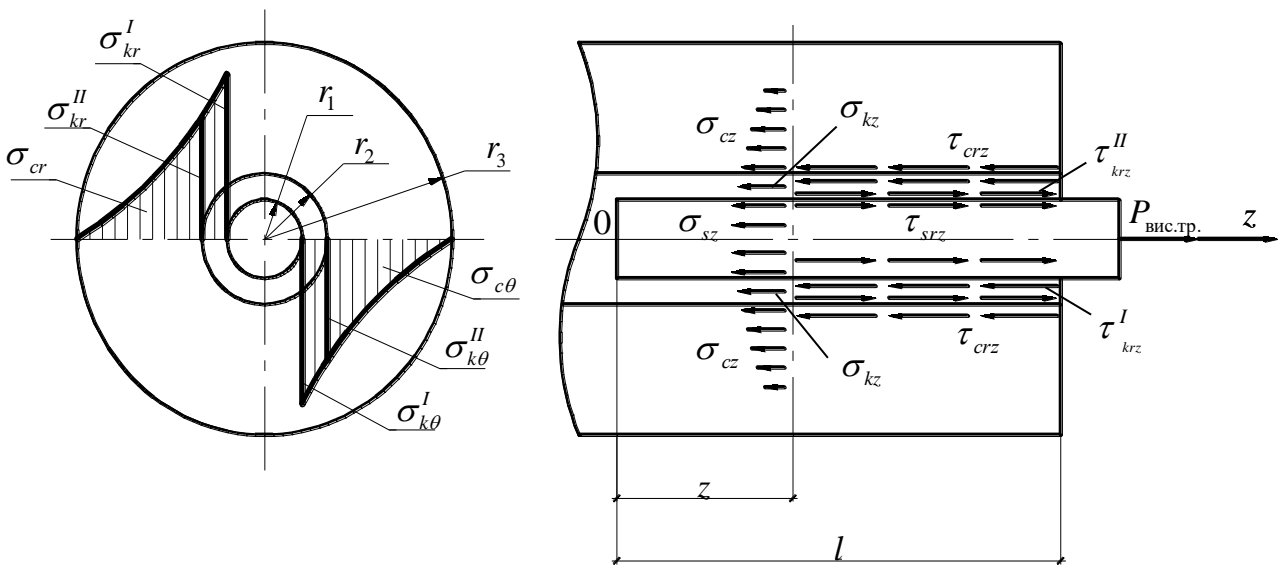


Рис. 2. Розрахункова схема анкерного з'єднання

Напруження і переміщення виражаються через функцію напружень А. Лява за допомогою рівнянь:

$$\sigma_z = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ (2-\nu)\Delta^2\Phi - \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2} \right\}; \quad (1)$$



$$\sigma_r = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \nu \Delta^2 \Phi - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} \right\}; \quad (2)$$

$$\sigma_\theta = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \nu \Delta^2 \Phi - \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right\}; \quad (3)$$

$$\tau_{rz} = \frac{\partial}{\partial r} \left\{ (1-\nu) \Delta^2 \Phi - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right\}, \quad (4)$$

при короткочасному навантаженні:

$$U = \frac{1+\nu}{E(t)} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r \partial z}; \quad (5)$$

$$W = \frac{1+\nu}{E(t)} \left\{ (1-2\nu) \Delta^2 \Phi + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial r} - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} \right\}, \quad (6)$$

при тривалому навантаженні:

$$U = \frac{1+\nu}{E(t)} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r \partial z} + \int_{\tau_1}^t (1+\nu) \frac{\Delta^2 \Phi}{\partial r \partial z} \frac{\partial}{\partial \tau} \omega(t, \tau) d\tau; \quad (7)$$

$$W = \frac{1+\nu}{E(t)} \left\{ 2(1-\nu) \Delta^2 \Phi - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right\} + \int_{\tau_1}^t (1+\nu) \left\{ 2(1-\nu) \Delta^2 \Phi - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right\} \frac{\partial}{\partial \tau} \omega(t, \tau) d\tau, \quad (8)$$

де  $r, z$  – циліндрична координата;

$\tau$  – вік акрилового клею;

$t$  – час, для якого визначається напружено-деформований стан з'єднання;

$\tau_1$  – вік акрилового клею, що відповідає моменту прикладення навантаження.

$$\text{У виразах (7) і (8)} \quad \omega(t, \tau) = \frac{1}{E(\tau)} + G(t, \tau), \quad (9)$$

де  $G$  – міра повзучості.

У виразах (1) - (8)  $\Phi$  – функція напружень, що задовольняє бігармонічному рівнянню:

$$\Delta^4 \Phi(t, r, z) = 0. \quad (10)$$

Напружено-деформований стан досліджуваного анкерного з'єднання при дії тривалого висмикувального зусилля  $P_{вус.мп.}$  описується розв'язанням диференційного рівняння (10) у частинних похідних. Практичні умови що розглядаються:

– на зовнішній бічній поверхні бетонного циліндра, де  $r = r_3$ , дотичні  $\tau_{crz}$  й радіальні  $\sigma_{cr}$  напруження дорівнюють нулю;

– на торцях бетонного і клейового циліндра в місці виходу анкера з бетону ( $z = l$ ) нормальні осьові напруження  $\sigma_{cz}, \sigma_{kz}$  й дотичні  $\tau_{krz}, \tau_{crz}$  дорівнюють нулю;

– на закладеному кінці анкера (при  $z = 0$ ) дотичні напруження  $\tau_{krz}, \tau_{crz}$  та осьові переміщення  $w_k, w_c$  в клеї і бетоні дорівнюють нулю;

– на бічній поверхні анкера, тобто на контакті клей-анкер, де  $r = r_1$ , відповідно рівні між собою радіальні напруження  $\sigma_{sr} = \sigma_{kr}^I$ , дотичні напруження  $\tau_{srz} = \tau_{krz}$ , відносні осьові деформації  $\varepsilon_{sz} = \varepsilon_{kz}$  та радіальні переміщення  $u_s = u_k$ ;

– на внутрішній бічній поверхні бетонного циліндра, тобто на контакті клей-бетон, де  $r = r_2$ , відповідно рівні дотичні напруження  $\tau_{krz} = \tau_{crz}$ , радіальні напруження  $\sigma_{kz}'' = \sigma_{cz}$  і радіальні переміщення  $u_k'' = u_c$ ;

– на закладеному кінці анкера при  $z = 0$  нормальні осьові напруження  $\sigma_{sz}$  дорівнюють нулю.

Враховуючи граничні умови, після математичних перетворень одержані в узагальненому, зручному для алгоритмізації вигляді вирази для визначення напружень і переміщень, вирішена задача теорії пружності для клейового анкерування серпоподібних арматурних стержнів за допомогою акрилових клеїв у випадку дії на анкер короткочасного й тривалого зусиль.

**У третьому розділі** наводяться результати дослідження напружено-деформованого стану анкерного з'єднання виконаних у формі розрахункового експерименту, для чого кафедрою прикладної математики ХНУМГ ім. О.М. Бекетова розроблено алгоритм розрахунку анкерного з'єднання. Блок-схема розробленого алгоритму наведена в додатку Б дисертації.

Результати розрахункового експерименту представлені у вигляді епюр розподілу й графіків максимумів напружень і переміщень, що відображають вплив того або іншого параметра на напружено-деформований стан анкерного з'єднання на контактах клей-анкер і клей-бетон (рис. 3, 4). На епюрах і графіках наведені значення напружень і переміщень в елементах з'єднання, що виникають від короткочасної та тривалої дії висмикувального зусилля на анкерний стержень. Початок координат епюр розподілу напружень і переміщень розташовано на кінці закладеної в бетон частини анкерного стержня. Для зручності зіставлення різних напружень і переміщень при аналізі результатів вони демонструються не в явному вигляді, а у відносних величинах, що показують відношення напруження або переміщення в з'єднанні до одиничного нормального напруження в анкері.

Аналіз графіків максимумів і мінімумів вказаних напружень і переміщень показав наступне.

При збільшенні глибини закладення арматурного стержня серпоподібного профілю класу А500С в бетон за допомогою акрилового клею відбувається зменшення напружень і переміщень в елементах анкерного з'єднання. При глибинах закладення арматурного стержня  $l_{анк} \geq 17,5d_s$  спостерігається стабілізація напружень і переміщень.

Зменшення товщини клейового шару  $\delta$ , а отже й діаметра шпурів в бетоні, приводить до збільшення напружень і переміщень в елементах з'єднання. Особливо різко вони зростають у бетоні на контакті клей-бетон, де дотичні й радіальні напруження можуть перевищити опір бетону на зріз або розтяг.

Поперечні розміри анкера при збереженні співвідношення геометричних розмірів з'єднання не роблять впливу на зміну напруженого стану з'єднання.

Результати розрахунків показали, що зі збільшенням діаметра анкера при постійній товщині клейового шару напруження в елементах з'єднання збільшуються. Особливо помітні збільшення напружень на контакті клей-бетон. Так, зі збільшенням значення при постійному  $l_0$  спостерігається значне збільшення дотичних напружень на контакті клей-анкер і незначне на контакті клей-бетон. При цьому спостерігається зближення максимумів  $\tau_{rz}^{(k)}$  і  $\tau_{rz}^{(\delta)}$ .

Очевидно, що збільшення значень дотичних і радіальних напружень зі збільшенням  $l/l$  зменшить

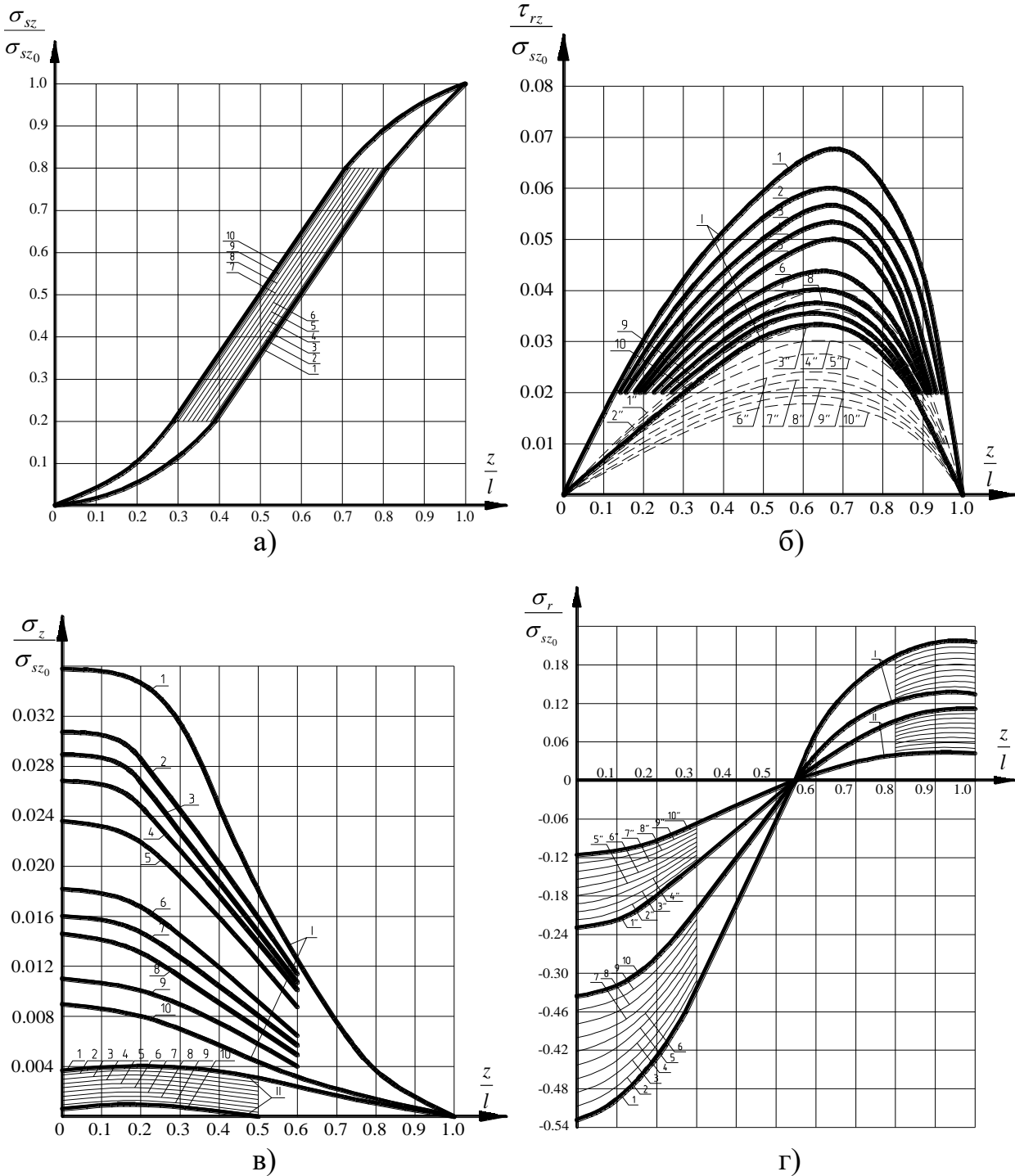
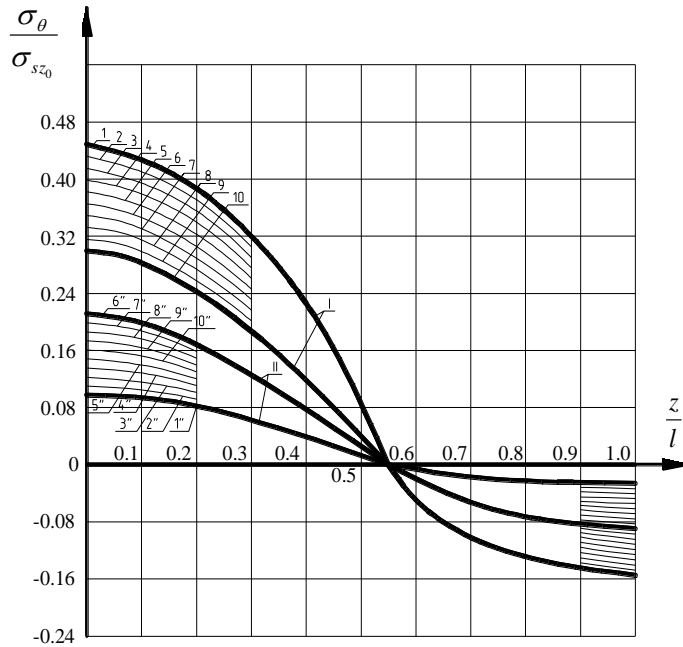
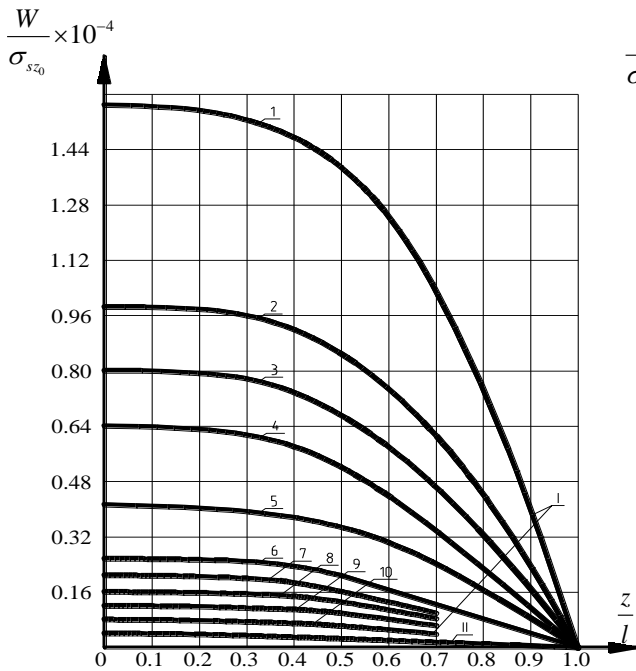


Рис. 3. Розподіл нормальних осевих напружень по довжині закладеної в бетон частини анкера (а), дотичних (б), нормальних осевих (в), радіальних (г) напружень у клеї відповідно на контактах клей-анкер (I) і клей-бетон (II) залежно від величини модуля пружності клея  $E(t)$  : 1 –  $E(t) = 2,0 \times 10^3$  МПа; 2 –  $E(t) = 3,0 \times 10^3$  МПа; 3 –  $E(t) = 3,5 \times 10^3$  МПа; 4 –  $E(t) = 4,2 \times 10^3$  МПа;

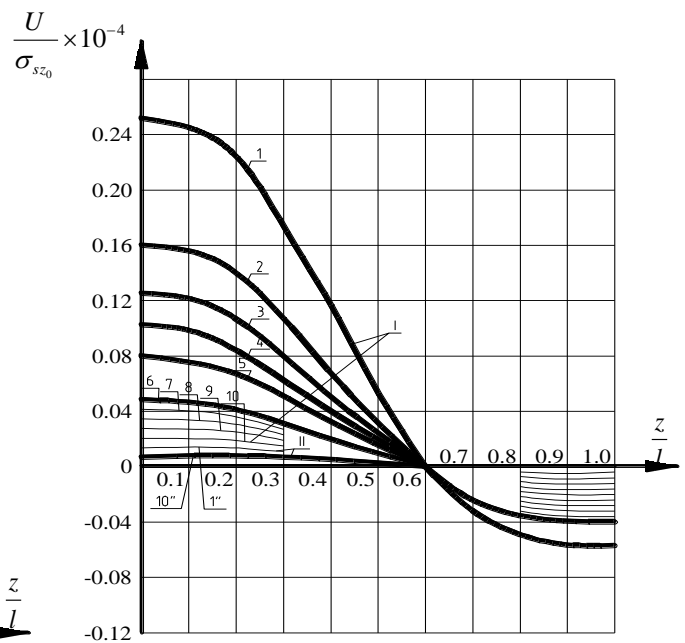
5 –  $E(t) = 5,4 \times 10^3$  МПа; 6 –  $E(t) = 7,6 \times 10^3$  МПа; 7 –  $E(t) = 8,78 \times 10^3$  МПа;  
 8 –  $E(t) = 10,0 \times 10^3$  МПа; 9 –  $E(t) = 11,67 \times 10^3$  МПа; 10 –  $E(t) = 14,0 \times 10^3$  МПа



а)



б)



в)

Рис. 4. Розподіл колових (тангенціальних) напружень (а), осьових (б) і радіальних (в) переміщень у клеї відповідно на контактах клей-анкер (I) і клей-бетон (II) залежно від величини модуля пружності клея  $E(t)$  :  
 1 –  $E(t) = 2,0 \times 10^3$  МПа; 2 –  $E(t) = 3,0 \times 10^3$  МПа; 3 –  $E(t) = 3,5 \times 10^3$  МПа;

$$4 - E(t) = 4,2 \times 10^3 \text{ МПа}; 5 - E(t) = 5,4 \times 10^3 \text{ МПа}; 6 - E(t) = 7,6 \times 10^3 \text{ МПа};$$

$$7 - E(t) = 8,78 \times 10^3 \text{ МПа}; 8 - E(t) = 10,0 \times 10^3 \text{ МПа}; 9 - E(t) = 11,67 \times 10^3 \text{ МПа};$$

$$10 - E(t) = 14,0 \times 10^3 \text{ МПа}$$

адгезійну міцність даного анкерного з'єднання, й таким чином, висмикувальне зусилля  $P_{\text{вид.тр.}}$ , прикладене до анкера, зменшиться.

При розгляді напружень у бетоні найнебезпечнішими виявилися нормальні осьові й радіальні напруження, що виникають у бетоні при висмикуванні анкера. Тому нормальні осьові напруження  $\sigma_{cz}$  визначали при  $z = 0$ , а радіальні  $\sigma_{cr}$  – при  $z = l$  (де  $z = 0$  і  $z = l$  відносні координати точок на осі  $z$ ) і в точках, вилучених від поверхні контакту клей-бетон на відстані  $r_3$  від осі стержня. Аналіз результатів показує, що зі збільшенням відстані від осі анкера до точки, в якій визначається напруження, спостерігається зменшення радіальних, осьових і колових напружень у бетоні. Радіальні й осьові напруження різко падають на відстані більше 8 см. Нормальні осьові напруження падають на відстані до 8 см, але менш різко. При видаленні анкера від обрізу конструкції на відстані більше  $5d_s$  спостерігається значне зменшення напружень у бетоні.

Зі збільшенням віку акрилового клею зменшуються напруження й переміщення в клейовому шарі, особливо на контакті клей-анкер. Зміни модуля пружності акрилового клею від початку полімеризації до його завершення ( $\tau_l = 84$  годин) становлять від  $2,0 \cdot 10^3$  до  $14,0 \cdot 10^3$  МПа. При цьому міцність клею досягається 96-100 % від проектної. Крім того, через 6 годин після початку полімеризації клею, міцність його при стиску становить вже 27 МПа, а модуль пружності  $E(t) = 2 \cdot 10^3$  МПа. Зі збільшенням  $E(t)$  акрилового клею відбувається зменшення деформацій (переміщень) як у радіальному, так і в осьовому напрямках. При цьому найбільш значна зміна (зменшення) переміщень відбувається на контакті клей-анкер. На контакті клей-бетон ці деформації незначні, тому що більша частина деформацій доводиться на арматурний стержень і клейовий шар. При досягненні проектної міцності акрилового клею напружено-деформований стан з'єднання стабілізується.

У результаті дії  $P_{\text{вис.тр.}}$ , величина якого не вище встановленого будівельними нормами, в анкерному з'єднанні відбуваються релаксаційні процеси. Особливо вони значні на контакті клей-анкер. Релаксаційні процеси закінчуються через 20-24 діб після початку дії  $P_{\text{вис.тр.}}$ . Одночасно відбувається зростання деформацій у клейовому шарі. Вони особливо значні на контакті клей-анкер. Процес стабілізації деформацій повзучості завершується через 16-20 діб після прикладення  $P_{\text{вис.тр.}}$ . Результати проведеного розрахункового експерименту показали відповідність отриманих даних із проведеними раніше експериментальними дослідженнями Ткаченка Р.Б., Шутенка Л.М з визначення міцності й деформативності клейового анкерування арматурних стержнів класу А500С.

Дослідження впливу діаметра арматурного стержня серпоподібного профілю класу А500С на напружений стан з'єднання проводили у двох напрямках. Перший – при подібності геометричних розмірів анкерного з'єднання, тобто при сталих значеннях  $l_0 = \frac{l_{\text{анк}}}{r_1}$  і  $l_1 = \frac{l_{\text{анк}}}{r_2}$ . Результати розрахунків

показали, що в такому випадку поперечні розміри анкерного стержня не впливають на напружений стан з'єднання. Але при такій умові розміри шпурів в бетоні дуже великі, особливо для арматурних стержнів  $d_s > 2,0$  см. Такі розміри з'єднання не економічні і призводять до перевитрат клею. У зв'язку з цим розглянуто другий випадок, коли подібність геометричних розмірів з'єднання порушується. У цьому випадку  $l_0$  залишається сталою, а  $l_1$  зростає із збільшенням діаметра арматурного стержня. Результати розрахунків показали, що з підвищенням  $d_s$  при постійному  $\delta_{кл.}$  напруження в елементах з'єднання збільшується. Особливо значне зростання радіальних та колових напружень у клеї спостерігається на контакті клей-анкер і в бетоні на контакті клей-бетон.

Очевидно, що збільшення значень дотичних і радіальних напружень з підвищенням  $l_1$  зменшує адгезійну міцність анкерного з'єднання, інакше висмикувальне зусилля  $P_{вис.тр.}$ , прикладене до анкера, зменшиться. Збільшення нормальних осьових і колових напружень у клеї істотно не впливає на міцність з'єднання з огляду на велику міцність акрилового клею на стиск і розтяг. Більш небезпечним є збільшення нормальних осьових, радіальних і колових напружень у бетоні, оскільки вони можуть перевершити межі міцності на стиск і розтяг. Очевидно, в такому випадку треба або збільшити товщину клейового шару, або клас бетону, або передбачити конструктивні заходи щодо підвищення міцності з'єднання (наприклад, армування).

**У четвертому розділі** наводяться результати експериментальних досліджень міцності та деформативності анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю акриловими клеями залежно від глибини закладення арматурного стержня в залізобетонні зразки, які виготовлялися з бетону класу С12/15. Акриловий клей застосовувався звичайного складу та модифікований з підвищеними адгезійними й когезійними властивостями.

Аналіз результатів випробувань міцності й деформативності зразків анкерного з'єднання показав наступне. Руйнування анкерних з'єднань при  $l_{анк.} = 17,5d_s$  і  $l_{анк.} = 22,5d_s$  відбувалося при анкеруванні стержня у залізобетонний зразок з поперечним армуванням  $\varnothing 10$  мм А240С у результаті розриву анкера з утворенням конуса вириву бетону навколо клейової обойми. При руйнуванні анкерних з'єднань середні значення нормальних осьових розтягуючих напружень на зануреному кінці арматурного стержня дорівнювали  $\sigma_s \geq 608$  МПа.

Аналіз результатів визначення деформативності анкерних з'єднань (зміщення зануреного й незануреного кінця анкера) з використанням серпоподібного арматурного прокату класу А500С залежно від глибини закладення арматурних стержнів  $l_{анк.}$  у бетон за допомогою акрилових клеїв різних складів на відстані 125 мм від обрізу бетонного блоку показав наступне.

При глибині закладення стержня  $l_{анк.} = 17,5d_s$  руйнування анкерних з'єднань відбувалося при  $\sigma_s = 635$  МПа. Руйнування анкерних з'єднань при  $l_{анк.} = 17,5d_s$  відбувалося в результаті розриву арматурного стержня з утворенням конуса виколу бетону навколо клейової обойми. Зсуви незануреного кінця  $\Delta_0$  анкера спостерігалися при  $\sigma_s \geq 261$  МПа.

Руйнування анкерних з'єднань при  $l_{анк.} = 22,5d_s$  відбувалося в результаті розриву арматурного стержня без утворення конуса виколу бетону навколо

клеювої обійми. У момент руйнування анкерних з'єднань середні значення нормальних осьових розтягуючих напружень на зануреному кінці анкера  $\Delta_l$  були рівні  $\sigma_s \approx 678$  МПа, тобто вище межі міцності арматурного стержня при розтяганні. Зсуви незануреного кінця  $\Delta_0$  анкера спостерігалися при  $\sigma_s \geq 370$  МПа.

Зсуви зануреного кінця анкера мали більші значення для першого випадку  $l_{\text{анк.}} = 17,5d_s$ , ніж для другого  $l_{\text{анк.}} = 22,5d_s$  при однакових значеннях  $\sigma_s$ . Зсуви  $\Delta_0$  й  $\Delta_l$  носять лінійний характер:  $\Delta_0$  – до  $\sigma_s = 510$  МПа;  $\Delta_l$  – до  $\sigma_s = 610$  МПа.

У результаті проведених експериментів можна зробити висновок, що оптимальна глибина закладання у пробурені шпури в залізобетонному масиві арматурних стержнів серпоподібного профілю класу А500С за допомогою модифікованих акрилових клеїв дорівнює 17,5 діаметрів, а за допомогою звичайних акрилових клеїв – 22,5 діаметрів.

По епюрах розподілу нормальних осьових напружень в анкері, отриманих у результаті проведення експерименту, визначені дотичні напруження на контакті клей-анкер  $\tau_{krz}^l$  (рис. 5, пунктирні лінії). Вони отримані з умови рівноваги нормальних осьових напружень  $\sigma_{sz}$ , що виникають у поперечному перерізі закладеної в бетон частини арматурного стержня серпоподібного профілю класу А500С, при висмикуванні його з бетону, і дотичних напружень на його поверхні: 1 – при  $l_{\text{анк.}} = 17,5d_s = 35$  см і 2 – при  $l_{\text{анк.}} = 22,5d_s = 45$  см.

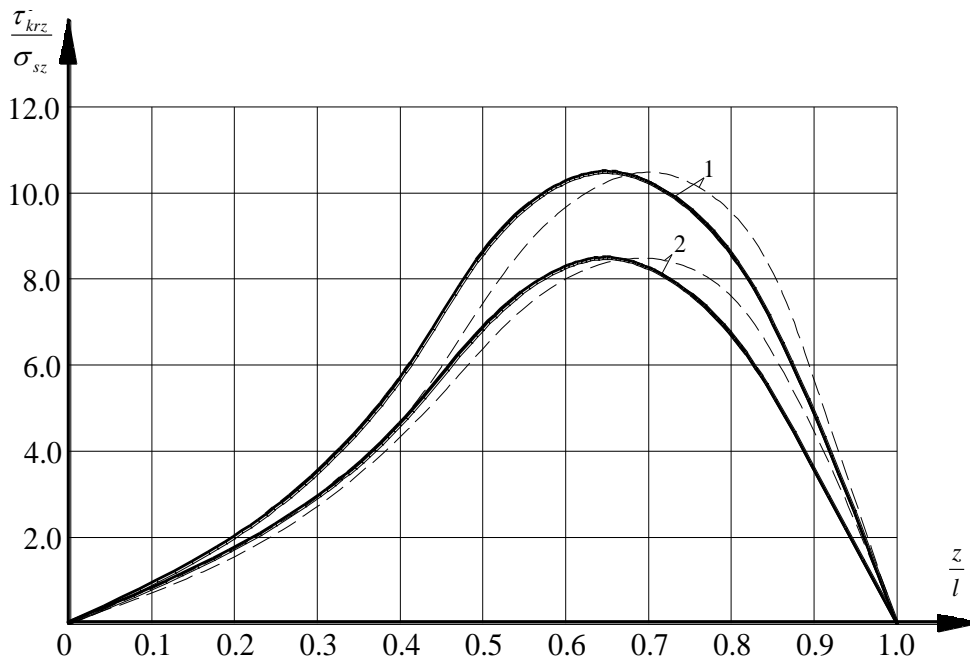


Рис. 5. Розподіл дотичних напружень на контакті клей-анкер (суцільні лінії – розрахункові, пунктирні – експериментальні) залежно від глибини закладання арматурного стержня  $l$ :  
1 – при  $l_{\text{анк.}} = 17,5d_s = 35$  см; 2 – при  $l_{\text{анк.}} = 22,5d_s = 45$  см

Для аналізу збігу теоретичних і експериментальних результатів було використане поняття про довірчий інтервал. На рис. 6 представлені розташування кривих відповідно  $d\sigma_{sz}$  ( $P_i = 116,2$  кН), що обмежують довірчі інтервали, а також експериментальні й теоретичні криві. Із цих графіків видно,

що досліджувані криві лежать у довірчому інтервалі. Це свідчить про те, що прийнята розрахункова схема, математичні висновки, використовувані при рішенні задачі, задовільні для практичної мети, відповідають реальним умовам роботи анкерного з'єднання.

Наведено приклад розрахунку клейового анкерування арматурного стержня серпоподібного профілю класу А500С та представлено висновки.

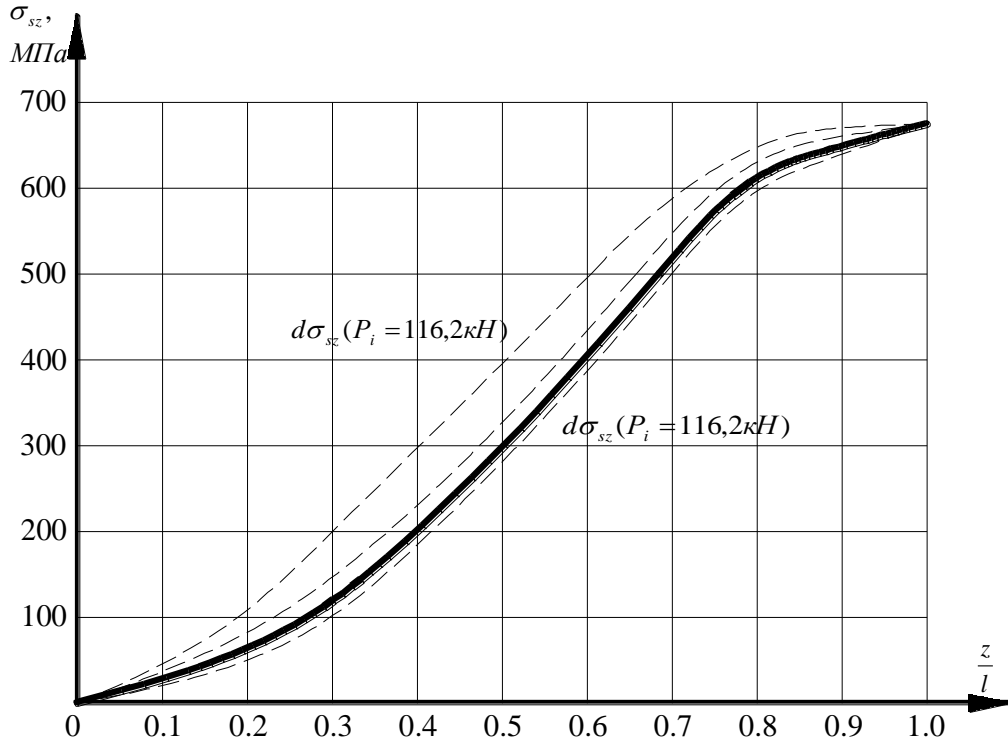


Рис. 6. Довірчий інтервал для експериментальної епюри  $d\sigma_{sz}(P_i = 116,2 \text{ кН})$

Також у четвертому розділі наведено дослідно-промислове впровадження анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю в бетоні акриловими клеями.

При реконструкції житлового будинку, розташованого в м. Кіровське, Донецька обл., були виконані роботи зі збільшення площі поперечного перерізу стрічкового бутового фундаменту з наступним збільшенням його несучої здатності. Було встановлено 1180 шт. арматурних стержнів  $\text{Ø}20$  мм А500С. З'єднання старого фундаменту зі свіжоукладеним бетоном зробили за допомогою клейового анкерування арматурних стержнів.

У котельній, розташованій в м. Єнакієве, Донецької обл., із застосуванням акрилового клею виконані роботи по зміні конфігурації фундаменту під потужний котел марки ДЕВ-4-14-ГМ-О. У цьому випадку було встановлено 311 шт. арматурних стержнів  $\text{Ø}20$  мм А500С і 216 шт.  $\text{Ø}25$  мм А500С. У порівнянні з проектом реконструкції виробниче впровадження дозволило отримати економічний ефект у розмірі 2575 грн/м<sup>3</sup> бетону, значно скорочені витрата бетону, металу й трудових витрат.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ



1. Одержала подальший розвиток математична модель напружено-деформованого стану анкерного з'єднання на акриловому клеї для анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю в бетоні на основі вирішення вісесиметричної задачі теорії пружності для трьох тіл: стержня (анкера), клейового й бетонного циліндрів, при дії на стержень короткочасного й тривалого впливів.

2. У відмінності від раніше проведених досліджень, математична модель дозволяє враховувати напружено-деформований стан сучасних арматурних стержнів серпоподібного профілю при впливі на анкер короткочасно та тривало діючого висмикувального зусилля.

3. Чисельним експериментом уперше в практиці наукових досліджень встановлено вплив дії короткочасного та тривалого висмикувального зусилля, віку акрилового клею, фізико-механічних властивостей акрилових клеїв різних складів і геометричних параметрів анкерних з'єднань (глибина закладення арматурного стержня, товщина клейового шару, діаметр арматурного стержня) на напружено-деформований стан клейового анкерування.

4. Адекватність прийнятих моделей і методів підтверджені проведеними експериментальними дослідженнями, які показали збіжність теоретичних і експериментальних досліджень у межах 10%.

5. Визначено раціональні параметри конструктивних рішень анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю класу А500С в бетон із застосуванням стандартних і модифікованих складів акрилових клеїв, зокрема визначено мінімальні припустимі відстані від краю елемента конструкції або обріза фундаменту до осі арматурного стержня.

6. Результати дисертаційної роботи дозволяють отримати економічний ефект у розмірі 2575 грн/м<sup>3</sup> бетону, значно скорочені витрата бетону, металу й трудових витрат.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Основні публікації:*

1. Золотов М.С. Напряженно-деформированное состояние клеевой анкеровки арматурных стержней серповидного профиля / М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляр, К.А. Рапина // Науковий вісник будівництва. – Вип. 66. – Х.: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2011. – С. 176-183.

*Особистий внесок: визначено геометричні характеристики арматурних стержнів класу А500С та порівняння площі зчеплення поперечних ребер арматури класу А500С і АІІІ.*

2. Золотов М.С. Влияние возраста акрилового клея на напряженно-деформированное состояние анкеровки арматурных стержней серповидного профиля / М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляр, О.Н. Коремян // Науковий вісник будівництва. – Вип. 67. – Х.: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2012. – С. 159-165.

*Особистий внесок: встановлено вплив віку акрилового клею на напружено-деформований стан.*

3. Золотов М.С. Влияние глубины заделки арматурного стержня серповидного профиля на напряженно-деформированное состояние анкерного соединения на акриловых клеях / М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляр // Комунальне господарство міст: наук.-техн. збірник. – Вип. 105. – Х.: ХНАМГ, 2012. – С. 116-122.  
*Особистий внесок: проведено розрахунковий експеримент та оброблено результати.*
4. Золотов М.С. Зависимость напряженно-деформированного состояния клеевой анкеровки арматурных стержней серповидного профиля класса А500С от толщины клеевого слоя / М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляр, А.О. Гарбуз // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. тр. – Вып. 65. – Днепропетровск: ПДАБА, 2012. – С. 235-239.  
*Особистий внесок: проведено розрахунковий експеримент та оброблено результати.*
5. Золотов М.С. Распределение напряжений в бетоне при клеевой анкеровке арматурного стержня серповидного профиля класса А500С / М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляр, А.О. Гарбуз // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Вип. 24. – Рівне: НУВПГ, 2012. – С. 135-140.  
*Особистий внесок: виконані теоретичні дослідження напружено-деформованого стану клейового анкерування з використанням вісесиметричної задачі теорії пружності.*
6. Бабаев В.Н. Экспериментальные исследования напряженного состояния клеевой анкеровки арматурных стержней серповидного профиля при кратковременном воздействии выдергивающего усилия профиля / В.Н. Бабаев, М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляр, А.О. Гарбуз // Науковий вісник будівництва. – Вип. 71. – Х.: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2013. – С. 143-151.  
*Особистий внесок: виконано планування та виконання експериментів і статистична обробка отриманих даних експериментів.*
7. Бабаев В.Н. Влияние поперечных размеров скважин в бетоне в случае клеевой заделки в бетон арматурных стержней серповидного профиля класса А500С на напряженно-деформированное состояние анкерного соединения / В.Н. Бабаев, М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляр, А.О. Гарбуз // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Вип. 25. – Рівне: НУВПГ, 2013. – С. 200-204.  
*Особистий внесок: виконано розрахунок впливу поперечних розмірів скважин у бетоні на напружено-деформований стан анкерного з'єднання, побудова графіків.*
8. Бабаев В.Н. Влияние поперечных размеров арматурных стержней серповидного профиля класса А500С на напряженно-деформированное состояние анкерного соединения / В.Н. Бабаев, М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляр, А.О. Гарбуз // Комунальне господарство міст: наук.-техн. збірник. – Вип. 107. – Х.: ХНАМГ, 2013. – С. 27-32.

*Особистий внесок: проведено розрахунковий експеримент по визначенню залежності напружено-деформованого стану анкерного з'єднання від геометрії анкерного з'єднання та оброблено результати.*

9. Бабаев В.Н. Зависимость деформационных свойств клеевой анкеровки арматурных стержней серповидного профиля класса А500С от вида нагружения / В.Н. Бабаев, М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляр, А.О. Гарбуз // Будівельні конструкції. Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: міжвідомчий наук.-техн. зб. – Вип. 78, книга 2. – Київ.: ДП НДІБК, 2013. – С. 107-116.

*Особистий внесок: розроблена методика та проведені експериментальні дослідження, виконана статистична обробка отриманих даних експериментів.*

10. Бабаев В.Н. Влияние на напряженно-деформированное состояние клеевой анкеровки арматурных стержней серповидного профиля класса А500С толщины клевого слоя / В.Н. Бабаев, М.С. Золотов, Э.А. Шишкин, В.А. Скляр, А.О. Гарбуз // Ресурсосберегающие технологии и эффективное использование местных ресурсов в строительстве: межд. сб. научн. трудов. – Новосибирск: НГАУ, 2013. – С. 185-191.

*Особистий внесок: проведено розрахунковий експеримент та оброблено результати.*

*Додаткові публікації:*

11. Пат. на корисну модель №53872 Україна, МПК С09J 133/04. Клейова акрилова композиція / Л.М. Шутенко, С.В. Волювач, М.С. Золотов, В.С. Волювач, С.М. Золотов, Е.А. Шишкін; патентовласник – Харьк. націон. академія міськ. господ. - № и 2010 03356; заявл. 23.03.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20.
12. Shyshkin E.A. Stress and deformation state of glued anchorage of reinforcement bars of crescent type / E.A. Shyshkin, M.S. Zolotov // Transcom 2013, civil engineering. – Slovak Republic, Žilina, University of Žilina, 2013. – P. 279-283.
13. Шутенко Л.Н. Разрушения клеевой анкеровки арматурных стержней серповидного профиля / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, В.А. Скляр, Э.А. Шишкин, О.Н. Коремян // Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: материалы X международной науч.-техн. интернет-конф. 25 ноября – 25 декабря, г. Харьков. – Х.: ХНАГХ, 2012. – С.89-91.
14. Шутенко Л.Н. Математическая модель напряженно-деформированного состояния клеевой анкеровки арматурных стержней периодического профиля / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, В.А. Скляр, О.Н. Коремян, Э.А. Шишкин // Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: материалы X международной науч.-техн. интернет-конф. 25 ноября – 25 декабря, г. Харьков. – Х.: ХНАГХ, 2012. – С.119-123.
15. Золотов М.С. Прочность клеевой анкеровки арматурных стержней в железобетонные элементы / М.С. Золотов, А.О. Гарбуз, Э.А. Шишкин,

О.Н. Корекиян // Материалы XXXVI научно-технической конференции преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства, 21-23 апреля, г. Харьков. – Х.: ХНАГХ, 2012. – Ч. 2. – С. 165-167.

16. Золотов М.С. Опыт использования акриловых клеев для соединения строительных конструкций / М.С. Золотов, В.А. Скляр, С.М. Золотов, А.О. Гарбуз, Э.А. Шишкин, О.Н. Корекиян // Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства: материалы III международной науч.-техн. интернет-конф. 15 апреля – 15 мая, г. Харьков. – Х.: ХНАГХ, 2012. – С. 12-20.
17. Shyshkin E.A. Mathematical Model Of Stress And Deformation State Of Glued Anchorage Of Reinforcement Bars In Cases Of Exposure Short And Long Term Loading / E.A. Shyshkin, M.S. Zolotov // 5th International Academic Conference of Young Scientists «Geodesy, Architecture and Construction 2013». 21-23 november, Lviv. – L.: Lviv Polytechnic National University, 2013.

## АНОТАЦІЯ

**Шишкін Е.А. Напружено-деформований стан анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю акриловими клеями при дії статичного висмикувального зусилля. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Українська державна академія залізничного транспорту МОН України, Харків, 2014.

У роботі представлені результати визначення напружено-деформованого стану анкерування арматурних стержнів серпоподібного профілю класу А500С у бетон акриловими клеями різних складів у випадку дії на анкер короткочасного та тривалого висмикувального зусилля.

Встановлено вплив фізико-механічних властивостей і геометричних параметрів, як арматурного стержня класу А500С, так і анкерного з'єднання на напружено-деформований стан клейового анкерування, а також віку акрилового клею й тривалості дії висмикувального зусилля.

Виконано приклад розрахунку клейового анкерування арматурного стержня серпоподібного профілю класу А500С.

**Ключові слова:** акриловий клей, анкерування арматурних стержнів, напружено-деформований стан, короткочасна та тривала міцність і деформативність.

## АННОТАЦИЯ

**Шишкин Э.А. Напряженно-деформированное состояние анкеровки арматурных стержней серповидного профиля акриловыми клеями при действии статического выдергивающего усилия. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по

специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2014.

В работе представлены результаты определения напряженно-деформированного состояния анкеровки арматурных стержней серповидного профиля класса А500С акриловыми клеями различных составов, в случае воздействия на анкер кратковременного и длительного нагружения.

Решена осесимметричная задача теории упругости, получены выражения для определения напряжений и перемещений в элементах соединения анкер - клей - бетонный массив при воздействии на арматурный стержень серповидного профиля класса А500С кратковременно и длительно действующего выдергивающих усилий. Расчетным экспериментом установлено влияние физико-механических свойств и геометрических параметров, как арматурного стержня класса А500С, так и анкерного соединения с использованием акрилового клея разных составов, на напряженно-деформированное состояние клеевой анкеровки, а также возраста акрилового клея и времени действия статического выдергивающего усилия.

Установлены напряжения в арматурном стержне по его заделанной в бетон части, на контактах клей-анкер при воздействии на него расчетного выдергивающего усилия.

Экспериментально исследовано напряженно-деформированное состояние клеевой анкеровки арматурных стержней серповидного профиля в случае использования акриловых клеев различных составов при кратковременном воздействии выдергивающего усилия. Выполнен сравнительный анализ полученных экспериментальных данных с теоретическими исследованиями напряженно-деформированного состояния клеевой анкеровки арматурных стержней серповидного профиля класса А500С.

Выполнен пример расчета клеевой анкеровки арматурного стержня серповидного профиля класса А500С, позволяющий определить напряжения в элементах клеевой анкеровки арматурных стержней класса А500С при расчетном воздействии на него.

**Ключевые слова:** акриловый клей, анкеровка арматурных стержней, напряженно-деформированное состояние, кратковременная и длительная прочность и деформативность.

## ABSTRACT

**Shishkin E. Stress and deformation state anchorage of reinforcement bars of crescent type of acrylic under the action of static pulling force. – Manuscript.**

The thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.23.01 – building construction, buildings and structures. – Ukrainian State Academy of Railway Transport MON Ukraine, Kharkov, 2014.

The results of determining the Stress and deformation state anchorage of reinforcement bars of crescent type class А500С acrylic glue of different compositions, in the case of exposure to anchor short-term and long-term loading.

The influence of the physical and mechanical properties and geometrical

parameters such as reinforcement bars of class A500C and anchor connection with the use of acrylic glue of different compositions on the stress and deformation state of the adhesive anchors, and the age of acrylic glue and yank the duration of the effort.

Completed example of calculating adhesive anchoring of reinforcement bars class A500C of crescent type.

**Keywords:** acrylic glue, reinforcement rods anchoring, strained and deformed state, short-term and long-term duration and deformability.



**ШИШКІН ЕДУАРД АНАТОЛІЙОВИЧ**

**НАПРУЖЕНО – ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН АНКЕРУВАННЯ  
АРМАТУРНИХ СТЕРЖНІВ СЕРПОПОДІБНОГО ПРОФІЛЮ  
АКРИЛОВИМИ КЛЕЯМИ ПРИ ДІЇ СТАТИЧНОГО  
ВИСМИКУВАЛЬНОГО ЗУСИЛЛЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Підписано до друку 24.04.2014р.

Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.

Друк на різнографі. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 24

---

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»  
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)  
М. Харків, вул. Червонопрапорна, 3 літер Б-1  
Тел. 7-170-354  
[www.modelist.in.ua](http://www.modelist.in.ua)