

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**СМОЛЯНІНОВ МИХАЙЛО ЮРІЙОВИЧ**

УДК 69.059.32:624.012

**ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ Й ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ  
ЕЛЕМЕНТІВ, ПІДСИЛЕНИХ АКРИЛОВИМ ПОЛІМЕРРОЗЧИНОМ, ПРИ ДІЇ  
КОРОТКОЧАСНИХ СТАТИЧНИХ І БАГАТОРАЗОВО ПОВТОРНИХ  
НАВАНТАЖЕНЬ**

Спеціальність 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі і споруди

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

**ХАРКІВ – 2007**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі теоретичної і будівельної механіки в Харківській національній академії міського господарства Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, професор  
ЗОЛОТОВ Михайло Сергійович,  
професор кафедри будівельних конструкцій Харківської  
національної академії міського господарства.

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор  
СЕМКО Олександр Володимирович, професор кафедри  
конструкцій з металу, дерева і пластмас Полтавського  
національного технічного університету ім. Юрія Кондратюка;  
– кандидат технічних наук, доцент  
КОПЕЙКО Анатолій Євгенович, доцент кафедри  
залізобетонних та кам'яних конструкцій Харківського  
державного технічного університету будівництва і  
архітектури.

Захист дисертації відбудеться “ 31 ” січня 2008 р. о 12-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, Україна, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

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

Автореферат розісланий “ 18 ” грудня 2007 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої  
ради

Г.Л.Ватуля

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Великі обсяги робіт з реконструкції і модернізації існуючих будівель та споруд потребують пошуку нових раціональних і економічно обґрунтованих конструктивних рішень. Одним із шляхів вирішення вказаної проблеми є використання акрилових композицій для підсилення, відновлення та ремонту залізобетонних елементів, що характеризується відсутністю складних підготовчих процесів, значним скороченням витрат матеріалів, праці, терміну виконання вказаних робіт.

Запропоновані способи підсилення акриловими композиціями дозволяють швидко і ефективно виконувати роботи з підвищення та відновлення несучої здатності будівельних конструкцій будівель та споруд, які зазнають як статичних, так і багаторазових навантажень. Після підсилення такі конструкції можна вводити в експлуатацію вже через 3...10 годин.

Для успішного застосування залізобетонних елементів, підсиленних або відновлених акриловими композиціями, а також виконання розрахунків відповідно до вимог нормативних документів необхідно мати дані щодо міцності, деформативності й витривалості при короткочасних і багаторазово повторних навантаженнях з різними частотами.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана за координаційним планом Міністерства освіти і науки України, завдання 21 – “Створення нових технологій і методів механізації, що забезпечують будівництво і модернізацію будівель і споруд”, номер державної реєстрації 0199U004287. *Особистий внесок здобувача* – участь у розробці проектної документації з підсилення і ремонту залізобетонних конструкцій будівель і споруд.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є визначення міцності, деформативності й витривалості бетонних і залізобетонних елементів, підсиленних акриловими композиціями при впливі короткочасних статичних і багаторазово повторних навантажень з високими і низькими частотами. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Експериментально дослідити вплив товщини підсилюючого шару акрилового полімеррозчину на міцність і тріщиностійкість бетону при розтяганні.
2. Експериментально встановити вплив товщини клейового шару на несучу здатність при розтяганні з'єднаних акриловим полімеррозчином бетонних елементів.
3. Експериментально визначити величину міцності стиснутих і згинальних залізобетонних елементів з різноманітними: класом бетону, схемою підсилення і товщиною підсилюючого шару при дії короткочасного статичного навантаження.

4. Отримати аналітичні залежності з визначення несучої здатності стиснутих і згинальних залізобетонних елементів підсилених акриловим полімеррозчином при дії статичних і багаторазово повторних навантажень з різними частотами.

5. Дослідити вплив рівня навантаження, товщини підсилюючого шару, схеми підсилення і частоти багаторазово повторних навантажень на витривалість стиснутих і згинальних елементів, підсилених акриловим полімеррозчином.

6. Експериментально дослідити деформативність вказаних елементів при короткочасному статичному й багаторазово повторних навантаженнях.

7. Визначити вплив товщини підсилюючого шару для однакових схем підсилення на зміну короткочасної міцності й витривалості.

8. Експериментально визначити відносну межу витривалості залізобетонних елементів залежно від рівня навантаження, схеми підсилення і товщини шару акрилового полімеррозчину, коефіцієнта асиметрії циклу, числа і частоти багаторазово повторних навантажень.

9. Отримати аналітичні залежності для визначення відносної межі витривалості.

10. Експериментально встановити базове число циклів в залежності від частоти для залізобетонних елементів, підсилених акриловими композиціями при дії багаторазово повторного навантаження.

**Об'єкт дослідження** – бетонні й залізобетонні елементи будівельних конструкцій, підсилені акриловими композиціями.

**Предмет дослідження** – установлення короткочасної несучої здатності, деформативності й витривалості стиснутих і згинальних елементів, підсилених акриловими композиціями.

**Методи дослідження:**

- аналітичні, засновані на розгляді діаграми „зусилля-деформація” підсилених залізобетонних елементів і отримання залежностей для короткочасної несучої здатності й витривалості;

- експериментальні дослідження несучої здатності, деформативності, тріщиностійкості й витривалості звичайних і підсилених акриловим полімеррозчином стиснутих і згинальних залізобетонних елементів;

- порівняльний аналіз отриманих результатів і їх обробка з використанням сучасних методів математичної статистики.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- вперше отримані дані щодо несучої здатності й витривалості залізобетонних елементів будівельних конструкцій, підсилених акриловими композиціями при дії статичних і багаторазово повторних навантажень з частотою 7; 4,2 і 0,1 Гц;

- розрахунково-експериментальним шляхом визначені величини відносної межі витривалості залізобетонних елементів будівельних конструкцій, підсилених акриловими композиціями;

- експериментально встановлена залежність несучої здатності й деформативності підсилених акриловими композиціями залізобетонних елементів при дії короточасних статичних і багаторазово повторних навантажень від товщини підсилюючого шару, схем підсилення, класу бетону підсилених елементів, частоти, числа циклів і рівня навантаження;

- вперше отримано базове число циклів багаторазово повторного навантаження для залізобетонних елементів, підсилених акриловими композиціями, з частотою  $\omega \leq 0,1$  Гц, яке дорівнює  $2 \cdot 10^5$  циклів;

- доведено можливості використання акрилових полімеррозчинів для підсилення і відновлення залізобетонних конструкцій.

**Практичне значення отриманих результатів.** Одержано розрахункові характеристики дослідження залізобетонних елементів, підсилених акриловими композиціями, що забезпечують спільну роботу вказаних будівельних конструкцій при дії як короточасних статичних, так і багаторазово повторних навантажень. Результати роботи дозволяють виконувати розрахунок і конструювання бетонних і залізобетонних елементів, підсилених акриловими полімеррозчинами при дії як статичних, так і багаторазово повторних навантажень. В залежності від використання запропонованих схем підсилення і товщини шару акрилового полімеррозчину, несуча здатність підсилених залізобетонних елементів збільшується до 70% і значно віддаляється момент появи тріщин, при багаторазово повторних навантаженнях збільшується число циклів до руйнування.

**Впровадження.** Основні результати дисертаційної роботи були впроваджені на підприємствах тресту „Южспецстрой” (м. Харків), ТОВ „Омега” (м. Харків) при підсиленні залізобетонних колон та ригелів при реконструкції каркасних будівель.

**Особистий внесок здобувача:**

- проведено аналіз конструктивних рішень, що стосуються підсилення і відновлення бетонних і залізобетонних елементів, підсилених акриловими композиціями, а також методів їх розрахунку при короточасному й багаторазово повторному навантаженнях;

- отримано експериментальні дані з короточасної несучої здатності, тріщиностійкості й деформативності залізобетонних елементів, підсилених акриловими композиціями;

- отримано експериментальні дані з витривалості, тріщиностійкості й деформативності залізобетонних елементів, підсилених акриловими композиціями, при багаторазово повторних навантаженнях;

- експериментально встановлені величини відносної межі витривалості залізобетонних елементів, підсилених акриловими композиціями, залежно від схеми підсилення, товщини підсилюючого шару, числа циклів, рівня навантажень і частоти;

- розроблена методика експериментально-теоретичної оцінки відносної межі витривалості залізобетонних елементів, підсилених акриловими полімеррозчинами;

- розроблені розрахунково-експериментальні методики з оцінки несучої здатності залізобетонних елементів, підсилених акриловими полімеррозчинами, при статичному і багаторазово повторному навантаженнях;

- проведено статистичну обробку експериментальних даних.

**Апробація результатів дисертації.** Результати теоретичних і експериментальних досліджень доповідалися на науково-технічних конференціях різного рівня (2002-2007 рр.): VI міжнародній науково-технічній конференції “Застосування пластмас у будівництві й міському господарстві” (Харків, ХДАМГ, 2002 р.), міжнародній науково-технічній конференції “Будівництво, реконструкція і відновлення будинків і споруд міського господарства” (Харків, ХДАМГ, 2002 р.), II міжнародній науково-технічній конференції “Сталий розвиток міст” (Харків, ХДАМГ, 2003 р.), на міжнародних семінарах “Моделирование и оптимизация в материаловедении” МОК’43, МОК’44, МОК’45, МОК’46 (Одеса, ОГАСа, 2004, 2005, 2006, 2007 рр.), IV міжнародній науково-технічній конференції “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди” (Рівне, РДТУ, 2003 р.), XXXI, XXXII, XXXIII науково-технічних конференціях викладачів, аспірантів і співробітників Харківської державної, а потім національної академії міського господарства (2002, 2004, 2006 рр.), міжнародній науково-технічній конференції “Рациональные энергосберегающие конструкции, здания и сооружения в строительстве и коммунальном хозяйстве” (Белгород, БелГТАСМ, 2003 р.), міжнародній конференції “Ресурс й безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд” (Харків, ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2003 р.), третій Всеукраїнській науково-технічній конференції „Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону” (Львів, Держбуд України, НДІБК, 2003 р.), міжнародній науково-практичній конференції „Молода наука Харківщини – 2004” (Харків, ХНУ і ХНАМГ, 2004 р.), VII міжнародній науково-технічній інтернет-конференції “Застосування пластмас в будівництві і міському господарстві” (Харків, ХНАМГ, 2006 р.).

**Публікації.** За результатами дисертаційної теми опубліковано 14 статей, у тому числі 12 у фахових виданнях, що рекомендовані ВАК України, і 7 тез доповідей. Чотири наукові праці написані автором самостійно.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і п'яти додатків. Повний обсяг дисертації – 216 сторінки, в тому числі 137 сторінок основного тексту, 51 рисунок і 20 таблиць, додатки на 32 сторінках,, список використаних джерел із 155 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність теми роботи, сформульовані мета й завдання дослідження, розкриті наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача і апробація результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі роботи виконано огляд літературних джерел щодо застосування полімерних матеріалів для підсилення, відновлення і ремонту бетонних та залізобетонних конструкцій.

Проблемою підсилення і відновлення несучої здатності бетонних і залізобетонних елементів полімерними композиціями займалися і продовжують займатися: Е.П.Александрян, А.Я.Барашиков, Р.І.Берген, П.В.Борков, Р.А.Веселовський, А.В.Губенко, В.С.Дорофеев, М.С.Золотов, Л.А.Ігонін, С.М.Золотов, В.З.Кліменко, Ю.Ф.Кутін, В.Г.Мікульський, Г.А.Молодченко, В.В.Патуроев, А.М.Пшінько, О.В.Семко, В.І.Соломатов, О.Л.Шагін, Л.М.Шутенко, В.Л.Чернявський, Е.Д.Чихладзе, М.Вuck, W.Kunze та ін.

Аналіз літературних джерел показує, що останнім часом збільшення несучої здатності стиснутих і згинальних елементів досягається шляхом використання полімерних композицій як конструкційного матеріалу. Перехід на методи підсилення будівельних конструкцій полімерними розчинами, полімербетонами і клеями значно підвищує їх міцнісні, деформативні й антикорозійні властивості, зменшує витрату матеріалів в 2...3 рази, знижує працемісткість і строки виконання робіт з підсилення в 1,5...3 рази, дозволяє виконувати ці роботи без зупинки виробничого процесу, що дає значні переваги в порівнянні з традиційними методами підсилення будівельних конструкцій.

Питання роботи залізобетонних елементів, підсилені полімерними композиціями, потребує спеціального вивчення їх міцності і деформативності при дії різних навантажень.

При експлуатації будівельні конструкції, підсилені і відновлені за допомогою полімерних композицій, зазнають дії як статичних, так і багаторазово повторних навантажень. Слід підкреслити, що практично відсутні дані щодо міцності залізобетонних стиснутих і згинальних елементів, підсилені акриловим полімеррозчином, при дії короточасних

статичних і багаторазово повторних навантажень з частотами 0,1...7 Гц.

На підставі виконаного аналізу літературних даних були сформульовані мета і завдання дослідження.

**Другий розділ** присвячений визначенню впливу товщини підсилюючого або з'єднуючого шару акрилового полімеррозчину на міцність бетону на розтяг шляхом розколювання спеціальних кубів з ребром 150 мм за методикою М.А.Гузеєва і Н.В.Макарової. Клас бетону В12,5. Товщина підсилюючого, або з'єднуючого шару полімеррозчину прийнята 3; 6 і 9 мм. Склад полімеррозчину – 100 мас-частин полімеру, 100 мас-частин мономеру АСТ-Т, 150 мас-частин кварцевого піску крупністю 0,16 мм, 6 мас-частин модифікатора  $ZnO$ . Деформації бетону і підсилюючого шару визначали методом електротензометрії. Аналіз дослідів свідчить, що при товщині підсилюючого шару 3, 6 і 9 мм величина межі міцності на розтяг збільшується відповідно на 29,9; 65,9 і 150,73% в порівнянні з контрольними кубами. При цьому руйнування підсилюючого покриття відбувалося одночасно з повною втратою несучої здатності дослідних зразків.

Після розколювання кубів з'єднували шаром акрилового полімеррозчину товщиною 3, 6 і 9 мм. Мета досліджень – установлення впливу товщини клейового шару на розтяг таких зразків шляхом розколювання. Методика випробувань та сама, що й підсилених кубів на розтяг. Руйнування склеєних бетонних зразків у всіх випадках відбувалося по бетону крихко, незалежно від товщини клейового шару. Установлено, що міцність на розтяг склеєних кубів практично не залежить від товщини з'єднуючого шару полімеррозчину. Отже, основним фактором, що визначає міцність склеєних елементів на розтяг, є клас бетону.

Досліджено вплив товщини обоими підсилюючого шару акрилового полімеррозчину на несучу здатність, тріщиностійкість і деформативність стиснутих залізобетонних елементів під дією короткочасного статичного навантаження. Експериментальні дослідження контрольних і підсилених обіймою з акрилового полімеррозчину товщиною 3, 6 і 9 мм залізобетонних елементів проводили на призмах розміром 100x100x400 мм, виготовлених з бетону класів В15 і В30. Армування призм: поздовжні стержні 4Ø8А-III і хомути Ø3А-I. Вимірювання деформацій арматури, поздовжніх і поперечних деформацій бетону і підсилюючого шару здійснювали методом електротензометрії з точністю  $0,42 \cdot 10^{-5}$ . Випробування контрольних і підсилених зразків проводили за стандартною методикою на пресі ПГ-100 короткочасним статичним навантаженням.

Аналіз експериментальних і розрахункових даних залізобетонних елементів, виготовлених з бетону В15 з  $\delta_{m,ad} = 3; 6$  і 9 мм показує, що середня дослідна (із шести величин) несуча здатність збільшується в порівнянні з контрольними зразками відповідно на 26, 47,8 і



73,8%, а розрахункова – на 22,4, 41 і 63%. Отже несуча здатність залізобетонних елементів, підсилених обоймою, підвищується із збільшенням її товщини.

Збільшення класу бетону залізобетонних підсилених елементів призводить до менш інтенсивного росту їх несучої здатності. Так при класі бетону залізобетонних елементів В30 і  $\delta_{m,ad} = 3, 6$  і 9 мм несуча здатність збільшується відповідно на 23,9; 40 і 56,1%, а розрахункова – на 20, 35 і 52,1%.

Порівняння результатів дослідів зразків підсилених обоймою з акрилового полімеррозчину товщиною 3, 6 і 9 мм, свідчить, що їх несуча здатність в середньому на 23,9...73,8% вища ніж у контрольних зразків, крім того у них значно віддаляється момент тріщиноутворення. Характер розвитку деформацій бетону  $\varepsilon_b$ , стиснутої арматури  $\varepsilon_{sc}$  і акрилового полімеррозчину  $\varepsilon_m$  показує, що зчеплення поздовжніх арматурних стержнів з бетоном порушується на останніх декількох ступенях, а зчеплення захисного шару бетону з акриловим покриттям практично не змінюється аж до руйнування дослідного зразка.

Дослідну величину несучої здатності бетону підсилених залізобетонних елементів  $N_{b,tot}^{doc}$  підраховували за формулою

$$N_{b,tot}^{doc} = N_{tot}^{doc} - (A'_s E_s \varepsilon_{s,max} + A_m E_m \varepsilon_{m,max}), \quad (1)$$

де  $N_{tot}^{doc}$  – несуча здатність;  $A'_s$  і  $A_m$  – площі перерізу стиснутої арматури і підсилюючого шару;  $E_s, E_m$  – модулі пружності арматури і полімеррозчину;  $\varepsilon_{s,max}$ ,  $\varepsilon_{m,max}$  – максимальні деформації відповідно арматури і підсилюючого шару.

Аналіз експериментальних даних показує, що збільшення товщини обойми з 3 до 9 мм приводить до підвищення несучої здатності бетону залізобетонних елементів в середньому на 15...37% в порівнянні з контрольними зразками і це пояснюється об'ємним напруженим станом.

Несучу здатність підсилених обоймою із акрилового полімеррозчину залізобетонних елементів запропоновано визначати за формулою

$$N_{tot}^{poz} \leq \gamma_{bm} A_b \cdot (R_b + \mu R_{sc}) + \gamma_{m,tot} R_m A_m, \quad (2)$$

де  $R_b, R_{sc}, R_m$  – міцність на осьовий стиск відповідно бетону, робочої арматури і акрилового полімеррозчину, МПа;  $\gamma_{bm}$  – коефіцієнт, що враховує вплив товщини обойми на бетон і робочу арматуру і змінюється у межах  $1,05 \leq \gamma_{bm} \leq 1,15$ ;  $\gamma_{m,tot}$  – коефіцієнт, що враховує спільну роботу бетону і акрилового полімеррозчину залежно від його класу (для В15  $\gamma_{m,tot} = 0,26$ , а для В30 – 0,3);  $\mu$  – коефіцієнт армування.

Приймаючи положення, що містяться в роботах О.Я.Берга, В.М.Бондаренка, Е.Н.Гамаюнова і О.В.Семко окремо враховуємо несучу здатність бетону охопленого хомутами (ядро)  $\sigma_{b,cor}$  і бетону захисного шару  $\sigma_{b,rot}$ . Виходячи з цього, несучу здатність бетону  $N_{b,tot}^{poz}$  визначаємо за формулою

$$N_{b,tot}^{poz} = \sigma_{b,cor} A_{b,cor} + \sigma_{b,rot} A_{b,rot}, \quad (3)$$

де  $A_{b,cor}, A_{b,rot}$  – площі бетону відповідно ядра і захисного шару, мм<sup>2</sup>.

Роздільний розрахунок несучої здатності бетону захисного шару і бетону ядра залізобетонної підсиленої призми обумовлений об'ємним напруженим станом, який виникає в наслідок того, що арматурний каркас і обойма із акрилового полімеррозчину перешкоджають поперечному розширенню бетону.

Використовуючи ідеї О.Я.Берга, В.М.Бондаренко і Е.Н.Гамаюнова визначаємо несучу здатність бетону ядра  $\sigma_{b,cor}$  і захисного шару  $\sigma_{b,rot}$  підсилених залізобетонних призм за залежностями (4) і (7)

$$\sigma_{b,cor} = \sigma_{bu,cor} \cdot \left[ 1 + \frac{0,5}{R_{bt}} \cdot (\sigma_3 + \sigma_{3m}) \right], \quad (4)$$

де  $\sigma_{bu,cor} = 2R_{crc}^0$ , МПа. Боковий тиск від хомутів  $\sigma_3$  визначаємо за формулою

$$\sigma_3 = 2A_{sw} \sigma_{yw} / S_w b_{cor}, \quad (5)$$

де  $A_{sw}$  – площа хомута, мм<sup>2</sup>;  $\sigma_{yw}$  – межа текучості хомута, МПа;  $S_w$  – крок хомутів, мм;  $b_{cor}$  – сторона ядра бетону, охопленого хомутами, мм.

Величину бокового тиску від обойми із акрилового полімеррозчину  $\sigma_{3m}$  визначаємо за залежністю

$$\sigma_{3m} = 2\delta_{m,ad} n' R_{mt} / b, \quad (6)$$

де  $\delta_{m,ad}$  – товщина обойми, мм;  $n'$  – відношення модулів пружності акрилового полімеррозчину і бетону;  $b$  – більша сторона поперечного перерізу залізобетонного зразка, мм. Напруження в захисному шарі бетону  $\sigma_{b,rot}$  підсиленого елемента знаходимо за залежністю

Несучу здатність залізобетонних зразків, підсилених обоймою з урахуванням ідей Е.Н.Гамаюнова і О.Я.Берга, можна визначати за залежністю

Аналіз дослідних і розрахункових величин несучої здатності звичайних і підсилених обоймою залізобетонних елементів показує, що їх відхилення не перевищує 11%.

У третьому розділі наведено методику і результати експериментальних і теоретичних досліджень несучої здатності, тріщиностійкості й деформативності залізобетонних балок, підсиленних акриловим полімеррозчином, при дії короткочасного статичного навантаження.

Програмою експериментальних досліджень передбачено випробування контрольних і підсиленних залізобетонних балок перерізом 70x120 мм і 120x130 мм і довжиною відповідно 0,8 і 2,0 м, а також таврових балок довжиною 2,5 м.

Балки довжиною 0,8 м були підсилені за трьома схемами: однобічним нарощуванням, напіврубашкою і обоймою товщиною 3, 6 і 9 мм, а балки довжиною 2,0 і 2,5 м – тільки обоймою. Вимірювання деформацій бетону, арматури і підсилюючого шару в усіх випадках проводили методом електротензомерії.

Експериментально встановлено, що несуча здатність залізобетонних балок збільшується залежно від схеми і товщини підсилюючого шару. На рис. 1 наведені графіки збільшення несучої здатності підсиленних за трьома схемами залізобетонних балок  $\delta_{m,ad} = 3, 6$  і  $9$  мм. Точки – дослідні величини як середні із шести. Суцільні лінії побудовані: 1, 2 – за залежністю (9), а 3 – за залежністю (10):

Аналіз експериментальних даних показує, що несуча здатність залізобетонних підсиленних балок залежить від схеми підсилення. Так, наприклад, при  $\delta_{m,ad} = 9$  мм несуча здатність прямокутних залізобетонних балок довжиною 0,8 м збільшується залежно від схеми підсилення відповідно на 19; 31,5 і 72,3%, а поява тріщин в бетоні розтягнутої зони, віддаляється в порівнянні з контрольними. Бетон і підсилюючий шар працюють спільно аж до руйнування балок. У балках, підсиленних обоймою, тріщиностійкість збільшується в середньому на 43...72% залежно від її товщини. Поява волосних тріщин в підсилюючому шарі відбувається при  $(0,85...0,95)M_{max}$ .

### Рисунок

Рис. 1. Несуча здатність залізобетонних балок залежно від схем і товщини шару підсилення:  
1, 2 і 3 – підсилення відповідно одностороннім нарощуванням, напіврубашкою і обоймою

Шляхом математичної обробки експериментальних даних отримані кореляційні залежності розвитку прогинів для всіх схем підсилення. Несучу здатність залізобетонних балок, підсиленних нарощуванням нижньої розтягнутої зони визначали за формулою

Висоту стиснутої зони визначається за залежністю

Несучу здатність залізобетонних елементів, підсиленних обоймою, запропоновано визначити за формулою (див. рис. 2)

Висоту стиснутої зони бетону при  $\delta_{m,ad} = \delta_{m,ad}$  визначаємо за залежністю

Величини несучої здатності підсилених залізобетонних згинальних елементів, визначені за формулами (11) і (14), відрізняються від дослідних в усіх випадках не більше ніж на 10%.

Експериментально досліджено вплив геометрії поперечного перерізу на несучу здатність тріщиностійкість і деформативність залізобетонних балок, підсилених тільки обоймою із акрилового полімеррозчину.

Випробування балок довжиною 2 м проводили на пресі МУФ-20. Установлено, що величини деформацій стиску і розтягу бетону і підсилюючого шару до появи тріщин практично були однаковими, що свідчить про спільну роботу бетону і покриття. За декілька ступенів до руйнування деформації покриття перевищували деформації бетону на 10...15%. Максимальне напруження в арматурі перед руйнуванням контрольних і підсилених обоймою товщиною 3, 6 і 9 мм залізобетонних балок відповідно склали: 392,4; 420,3; 439,7 і 457,7 МПа, а мінімальні 65,7; 63,8; 84,0; 85,7 МПа, тобто в окремих точках напруження в арматурі були близькими або дорівнювали  $\sigma_y$ .

### Рисунок

Рис. 2. Схема підсилення (а), зусиль і епюри напружень фактичної (б) і приведеної (в) в перерізі нормальному до поздовжньої осі згинального елемента, підсиленого обоймою, при розрахунку його на міцність

Результати випробувань залізобетонних балок, підсилених обоймою товщиною 3, 6 і 9 мм показують, що їх несуча здатність підвищується в порівнянні з контрольними відповідно на 14, 37 і 69%.

Аналіз експериментальних даних з розвитку прогинів показує, що їх величини залежать від товщини обойми підсилення. Так, при одному і тому ж рівні навантаження величини прогинів зменшуються і  $\delta_{m,ad} = 3, 6$  і 9 мм відповідно становлять 89,7; 82,3 і 74,3% від середньої величини прогину контрольних балок.

Для виявлення впливу геометрії поперечного перерізу на несучу здатність проведені експериментальні дослідження таврових залізобетонних контрольних і підсилених обоймою товщиною  $\delta_{m,ad} = 3$  мм і довжиною  $250 \pm 1$  см балок.

Результати випробувань підсилених таврових залізобетонних балок показують, що їх несуча здатність збільшилась на 11% в порівнянні з контрольними, момент виникнення перших тріщин у бетоні віддалився в середньому на 23%.

У четвертому розділі наведено методику і результати експериментальних досліджень центрально стиснутих і згинальних залізобетонних контрольних і підсилених елементів на витривалість з  $\omega = 7; 4,2$  і 0,1 Гц.

Дослідження витривалості, деформативності й тріщиностійкості стиснутих залізобетонних елементів розміром 100x100x400 мм, підсилених обоймою товщиною 3, 6 і 9 мм з частотою 7, 4,2 і 0,1 Гц проводили на пресах: ЦДМ-Пу100, ЦДМ-Пу10 і ГМС-20. Рівень навантажень  $\eta_t \leq (0,48...0,68)N_{tot}$ , з середнім коефіцієнтом асиметрії цикла  $\rho = 0,15$ . Клас бетону: В15 і В30. Методика експериментальних досліджень міцності й деформативності контрольних і підслених залізобетонних елементів з  $\omega = 7$  і 4,2 гц полягала в тому, що в процесі досліджень вимірювали поздовжні і поперечні деформації бетону, акрилового підсилюючого шару і поздовжньої арматури. Аналіз експериментальних даних показує, що несуча здатність підслених призм при дії багаторазового повторного навантаження збільшується у порівнянні з контрольними і визначається в основному міцністю бетону, товщиною обойми, частотою і рівнем навантаження. Обойма з акрилового полімеррозчину віддаляє момент появи тріщин в бетоні, тому що згідно з О.Я.Бергом, в цьому разі виникає об'ємний напружений стан. Руйнування стиснутих підслених залізобетонних елементів настає тоді, коли вичерпані несуча здатність бетону, охопленого хомутами, бетону захисного шару, арматури і акрилового покриття.

Величину руйнівного навантаження визначали за формулою

Відносної межі витривалості бетону  $K_f$ , підслених акриловим покриттям, залізобетонних елементів проводили за формулою

Визначені за формулою (17) величини  $K_f$  відрізняється на  $\pm 10\%$  від дослідних.

Підраховані за залежностями (18)...(23) відносні межі витривалості залізобетонних підслених центрально стиснутих елементів відрізняються на 10% від дослідних даних.

Межу витривалості залізобетонних стиснутих елементів  $N_f$  визначали за формулою:

$$N_f = K_f N_{tot}. \quad (24)$$

Установлено, що акрилове поверхнєве покриття залежно від його товщини  $\delta_{m,ad}$  збільшує несучу здатність бетону залізобетонних елементів на 20...30% і значно віддаляє момент появи тріщин у порівнянні з контрольними. Зі зменшенням  $\omega$  знижується не тільки  $K_f$ , але і число циклів, яке призводить до руйнування при заданому  $\eta_t$ . Досліди свідчать, що для одного і того ж значення  $K_f$ , число циклів багаторазово повторного навантаження зменшується в 10...11 разів при переході від частоти 4,2Гц до частоти 0,1Гц.

Підслені й контрольні залізобетонні балки прямокутного і таврового перерізу випробували з  $\omega = 7; 4,2$  і 0,1 Гц з метою установлення впливу підсилюючого шару і схеми підсилення на їх довговічність, витривалість і тріщиностійкість. Залізобетонні балки довжиною 0,8 м були підслені за трьома схемами з  $\delta_{m,ad} = 3, 6$  і 9 мм, досліджені при  $\omega = 4,2$ Гц. Балки довжиною 2,0 м були підслені тільки обоймою  $\delta_{m,ad} = 3, 6$  і 9 мм і

випробувані з  $\omega = 0,1$  і  $\omega = 4,2$  Гц. Таврові балки підсиленні обоймою тільки  $\delta_{m,ad} = 3$  мм і випробувані з  $\omega = 4,2$  Гц. Результати дослідів балок довжиною 0,8 м показують, що із збільшенням товщини підсилюючого шару для однієї і тієї ж схеми підсилення число циклів до руйнування збільшується, а момент виникнення тріщин у бетоні згинальних елементів значно віддаляється. Так, для балок, підсилених одностороннім нарощуванням при  $\omega = 4,2$  Гц,  $\eta_t = 0,31$ ,  $\rho = 0,34$  і  $\delta_{m,ad} = 3, 6$  і  $9$  мм, кількість циклів  $n$  до руйнування збільшується в порівнянні з контрольними відповідно на 10, 31 і 40%.

Значний вплив на витривалість контрольних і підсилених залізобетонних елементів справляють рівень навантаження і схема підсилення. На рис. 3 приведена гістограма витривалості залізобетонних балок, підсилених за трьома схемами при  $\delta_{m,ad} = 9$  мм,  $\rho = 0,31 \dots 0,35$  і рівні навантаження  $\eta_t = 0,33$  і  $\eta_t = 0,6$ . Залежно від схеми підсилення і при інших однакових умовах число циклів до руйнування при  $\eta_t = 0,6$  в середньому складає лише відповідно для контрольних балок 16,7%, а підсилених – 21,8; 22,5 і 24% в порівнянні з балками випробуваними з  $\eta_t = 0,33$  (рис. 3). Установлено, що зі збільшенням  $\eta_t$  при решті однакових умов, зменшується число циклів до руйнування (рис. 3). Так, для схеми підсилення обоймою з  $\delta_{m,ad} = 9$  мм,  $\eta_t = 0,33$  і  $\eta_t = 0,6$  середнє число циклів до руйнування становить відповідно  $n = 1,921 \cdot 10^6$  і  $n = 0,253 \cdot 10^6$ , тобто зменшилось в 7,6 рази (рис. 3).

### Рисунок

Рис. 3. Витривалість залізобетонних балок при  $\omega = 4,2$  Гц в залежності від схеми підсилення і рівня навантаження при  $\delta_{m,ad} = 9$  мм,

Розрахунок підсилених залізобетонних конструкцій на дію багаторазово повторних навантажень слід виконувати з урахуванням схем підсилення і товщини підсилюючого шару. Величину несучої здатності, залізобетонних підсилених балок при багаторазово повторному навантаженні  $M_f$  визначаємо за формулою

Початок і розвиток мікротріщин у бетоні залізобетонних елементів під дією багаторазово повторних навантажень залежить в першу чергу від схеми підсилення і товщини підсилюючого шару. Так, при практично однакових величинах  $\rho = 0,31 \dots 0,35$ ,  $\eta_t = 0,33$ ,  $\delta_{m,ad} = 9$  мм та схемах підсилення 1, 2 і 3 кількість циклів до виникнення волосних тріщин шириною  $0,05 \leq \delta \leq 0,1$  мм в бетоні розтягнутої зони становило відповідно  $n = 0,739 \cdot 10^6$ ,  $n = 0,916 \cdot 10^6$  і  $n = 1,22 \cdot 10^6$ . Тріщини в підсилюючому шарі з'явилися при  $n = (0,85 \dots 0,92)M_f$ . Отже, підсилюючий шар з акрилового полімеррозчину сприяє значному підвищенню витривалості, тріщиностійкості, зменшує деформативність.

Залізобетонні контрольні й підсилені обіймою балки довжиною 2,0 м випробували по дві одночасно з частотами навантажень  $\omega = 4,2$  Гц і  $\omega = 0,1$  Гц з  $\eta_t = 0,7$  і  $\rho = 0,15 \dots 0,25$ .

За результатами досліджень витривалості з  $\omega = 0,1$  Гц і  $\delta_{m,ad} = 3, 6$  і  $9$  мм встановлено, що при всіх інших однакових умовах, кількість циклів до руйнування в порівнянні з контрольними збільшується відповідно на 17,6; 40,3 і 70%.

Дані досліджень контрольних і підсилених залізобетонних балок довжиною 2,0 м свідчать, що при одному і тому ж  $\eta_t = 0,7 M_{tot,sh}$  і  $\rho = 0,15 \dots 0,25$  повна втрата їх несучої здатності з  $\omega = 4,2$  Гц настає при кількості циклів в 10...11 разів більшою ніж з  $\omega = 0,1$  Гц.

Результати досліджень контрольних і підсилених обіймою таврових балок  $\delta_{m,ad} = 3$  мм наведені на рис. 4. Аналіз результатів дослідів показує, що підсилення залізобетонних таврових балок обіймою товщиною  $\delta_{m,ad} = 3$  мм приводить до збільшення числа циклів  $n$  до руйнування при однакових  $\eta_t$  і  $\rho$  на 25...35% в порівнянні з контрольними.

Кореляційний зв'язок між  $K_f$  і  $\lg n$  контрольних і підсилених балок при  $\omega = 4,2$  Гц і коефіцієнті кореляції  $r = 0,99$  має відповідно вигляд

Зв'язок між  $\lg n$  і  $K_f$  контрольних і підсилених балок описується відповідно залежностями

#### Рисунок

Рис. 4. Витривалість таврових залізобетонних балок при  $\omega = 4,2$  Гц.

При цьому дослідні величини контрольних і підсилених таврових балок добре узгоджуються з відповідними теоретичними кривими 1 і 2 (рис. 4).

У п'ятому розділі описано методики підсилення і відновлення несучої здатності залізобетонних елементів будівельних конструкцій. Враховуючи те, що одна із складових частин акрилового полімеррозчину, а саме метилметакрилат є речовиною загальноотруйної дії, значну увагу в даному розділі приділено екології та техніці безпеки.

Наведено дані дослідно-промислового впровадження результатів дисертаційної роботи на підприємствах м. Харкова. У листопаді-грудні 2005 р. трестом „Южспецстрой” при реконструкції будинку каркасного типу були виконані роботи з ремонту і підсилення залізобетонних колон і ригелів загальним об'ємом  $120 \text{ м}^3$ . Застосування розробленого методу підсилення залізобетонних елементів дозволило зменшити витрати матеріалів, праці й значно скоротити термін введення цих конструкцій в експлуатацію. У жовтні 2005 р. на підприємстві ТОВ „Омега” були виконані роботи з підсилення залізобетонних ригелів і колон. Об'єм підсилених за допомогою акрилового полімеррозчину залізобетонних елементів складає  $95 \text{ м}^3$ , що дозволило скоротити строки виконання робіт в три рази в порівнянні з традиційними

методами підсилення і знизити трудовитрати на 45%, а також значно зменшити витрати матеріалів.

## ВИСНОВКИ

Отримані результати експериментально-теоретичних досліджень дозволяють рекомендувати використання акрилових полімеррозчинів для створення технологічного, відносно дешевого способу ремонту, відновлення і підвищення несучої здатності залізобетонних елементів будівель і споруд, що зазнають центрального і позацентрованого стиску, згину і більш складних видів деформацій при дії статичних і багаторазово повторних навантажень. Відмовитися від значної кількості трудомістких процесів при підсиленні й ремонті залізобетонних елементів традиційними способами.

1. Експериментально отримано, що збільшення товщини підсилюючого поверхневого шару акрилового полімеррозчину приводить до значного зростання міцності бетону на розтяг, віддаляє момент появи тріщин.

2. Встановлено, що міцність на розтяг бетонних елементів, з'єднаних акриловою композицією визначається тільки міцністю бетону на розтяг, тобто  $R_{bt}$ .

3. Запропоновано три схеми підсилення залізобетонних елементів, які використовуються для різноманітних видів деформацій.

4. Доведено, що із збільшенням товщини обойми із акрилового полімеррозчину несуча здатність залізобетонних елементів, що зазнають стиску і згину, посилюється.

5. Експериментально встановлено і підтверджено теоретично, що акрилове підсилююче покриття, незалежно від схеми підсилення, підвищує несучу здатність, тріщиностійкість і знижує деформативність залізобетонних елементів, що зазнають згину як при короткочасному статичному, так і багаторазово повторних навантаженнях.

6. Наведені кореляційні формули з визначення несучої здатності елементів в залежності від товщини підсилюючого шару  $\delta_{mad}$ , а також з розвитку прогинів відповідно до схем підсилення.

7. Отримано аналітичні залежності з визначення несучої здатності центрально стиснутих і згинальних елементів залежно від схем підсилення і товщини шару акрилового полімеррозчину як при короткочасному, так і багаторазово повторних навантаженнях.

8. Експериментально встановлено, що незалежно від виду поперечного перерізу елементів, які зазнають згину, їх несуча здатність, тріщиностійкість і деформативність при статичному навантаженні залежить від схем підсилення, товщини підсилюючого шару, класу бетону, виду й кількості арматури, а при динамічному ще й від частоти та рівня багаторазово повторного навантаження.



9. Установлено, що акриловий підсилюючий шар стиснутих і згинальних залізобетонних елементів практично працює сумісно з бетоном аж до їх руйнування.

10. Запропоновано формули з визначення відносної межі витривалості, підсилених залізобетонних елементів залежно від  $R_b$ ,  $\omega$  і  $\rho$ .

11. Показано, що при переході від частоти 7...4,2Гц до частоти 0,1Гц при однакових значеннях  $\mu$ ,  $R_b$ ,  $\eta$ ,  $\rho$  і  $\delta_{m,ad}$  і схемі підсилення, число циклів багаторазово повторних навантажень як стиснутих, так і згинальних залізобетонних елементів знижується більш ніж на порядок. Установлено, що при низькочастотних навантаженнях ( $\omega \leq 0,1$ Гц) за базове число циклів треба приймати  $n = 2 \cdot 10^5$ .

12. Встановлено, що із збільшенням товщини обойми до 9 мм число циклів до руйнування залізобетонних балок, при всіх інших рівних умовах, збільшується в середньому до 70% у порівнянні з балками без підсилення.

13. Показана можливість використання акрилового полімеррозчину для ремонту й відновлення несучої здатності залізобетонних елементів.

14. Здійснено дослідно-промислове впровадження результатів дисертаційної роботи на підприємствах м. Харкова.

#### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:**

1. Смолянинов М.Ю. Влияние акриловых покрытий на прочность и трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов // Коммунальное хозяйство городов: Научн.-техн. сб. – К.: Техніка, 2002.– Вып. 43. – С. 48-52.

2. Смолянінов М.Ю. Підсилення залізобетонних елементів, що зазнають згину, акриловим полімеррозчином // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: Вид-во РНУВГП, 2005. – Вип. 12. – С. 432-439.

3. Смолянинов М.Ю. Несущая способность железобетонных элементов, усиленных акриловыми композициями под действием статических нагрузок // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2006. – Вип. 37. – С. 85-90.

4. Золотов М.С., Смолянинов М.Ю. Прочность и деформативность центрально сжатых, упрочненных акриловым композитом железобетонных элементов при динамических нагружениях различной частоты // Коммунальное хозяйство городов: Научн.-техн. сб. – К.: Техніка, 2002.– Вып. 39. – С. 330-338.

5. Мельман В.А., Смолянинов М.Ю. Длительная прочность и деформативность центрально сжатых бетонных элементов, соединенных акриловым полимерраствором // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2003. – Вип. 9. – С. 257 – 263.

6. Золотов М.С., Смолянинов М.Ю. Восстановление и усиление железобетонных конструкций покрытиями на основе акриловых полимеров // Матеріали міжнародної конференції „Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд”. – Харків: ХДТУБА, 2003.– Вип. 23. – С. 174-177.
7. Золотов М.С., Смолянинов М.Ю. Прочность на растяжение усиленных или соединенных акриловых полимеррастворбетонных элементов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2004.– Вип. 28. – С. 178-187.
8. Золотов М.С., Мельман В.А., Смолянинов М.Ю. Виброползучесть центрально сжатых бетонных элементов соединенных акриловым клеем // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць.– Рівне: Вид-во РДТУ, 2002. – Вип. 8. – С. 116 – 123.
9. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Смолянинов М.Ю. Выносливость железобетонных изгибаемых элементов, усиленных акриловым полимерраствором при многократно повторных нагружениях // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2003. – Вип. 10. – С. 281-289.
10. Шутенко Л.Н., Золотова С.М., Смолянинов М.Ю. Влияние упрочняющих полимерных покрытий на выносливость и трещиностойкость железобетонных балок под воздействием низкочастотных нагрузок // Міжвідомчий наук.-техн. зб. „Будівельні конструкції”. – К.: НДІБК, 2003. – Вип. 59. – Кн. 1. – С. 87-94.
11. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Смолянинов М.Ю. Исследование прочности и трещиностойкости бетона на растяжение усиленного акриловым полимерраствором // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2004. – Вип. 11. – С. 187-195.
12. Шутенко Л.М., Золотов М.С., Смолянінов М.Ю. Використання акрилового полімеррозчину для підсилення та відновлення залізобетонних конструкцій // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2005. – Вип. 33. – С. 137-142.
13. Смолянинов М.Ю. Влияние геометрических параметров упрочняющих покрытий на основе акриловых полимеров на выносливость железобетонных элементов под воздействием низкочастотных динамических нагрузок // Материалы VII Международной научн.-техн. интернет-конф. “Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве”. – Харьков, 2006. – С. 86-90.
14. Золотов М.С., Мельман В.А., Смолянинов М.Ю. Ремонт и восстановление несущей способности железобетонных изгибаемых элементов акриловыми полимеррастворами // Вестник БГТУ: Научн.-теоретический журнал. – Белгород: БГТУ, 2003. – Вып. 5, Часть 1. – С. 278-280.

15. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Смолянинов М.Ю. Выносливость и трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов, усиленных акриловым полимерраствором // Материалы международного семинара по моделированию и оптимизации композитов МОК'43. – Одесса: “Астропринт”, 2004.– Вып. 43. – С. 117-118.
16. Шутенко Л.Н., Смолянинов М.Ю. Усиление железобетонных конструкций акриловыми полимеррастворами // Материалы международного семинара по моделированию и оптимизации композитов. МОК'44. – Одесса: “Астропринт”, 2005.– Вып. 44. – С. 173.
17. Шутенко Л.Н., Смолянинов М.Ю. Исследование несущей способности центрально сжатых железобетонных элементов, усиленных обоймой из акрилового полимерраствора // Материалы международного семинара по моделированию и оптимизации композитов. МОК'45. – Одесса: “Астропринт”, 2006. – Вып. 45. – С. 179-180.
18. Смолянинов М.Ю. Несущая способность тавровых железобетонных балок, усиленных обоймой из акрилового полимерраствора, при статическом и многократно повторном нагружениях // Материалы международного семинара по моделированию и оптимизации композитов. МОК'46. – Одесса: “Астропринт”, 2007. – Вып. 46. – С. 213-214.
19. Золотов М.С., Смолянинов М.Ю. Выносливость центрально сжатых упругоупрочненных акриловым полимерраствором железобетонных элементов при динамических нагрузках различной частоты // Тезисы докладов XXXI научн.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХГАГХ. – Харьков: ХГАГХ, 2002.– Часть 2.– С. 75-77.
20. Золотов М.С., Смолянинов М.Ю. Влияние толщины упрочняющего покрытия из акрилового полимерраствора на прочность и трещиностойкость бетона при растяжении // Тезисы докладов XXXII научн.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХНАГХ. – Харьков: ХНАГХ, 2004. – Часть 2. – С. 60-62.
21. Золотов М.С., Мельман В.А., Смолянинов М.Ю. Деформации бетонных и железобетонных элементов при многократно повторных нагружениях, восстановленных акриловым клеем // Тезисы докладов XXXIII научн.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХНАГХ. – Харьков: ХНАГХ, 2006. – Часть 1.– С. 53-55.

### ***АНОТАЦІЯ***

Смолянінов М.Ю. Підвищення міцності й тріщиностійкості залізобетонних елементів, підсилених акриловим полімеррозчином, при дії короткочасних статичних і багаторазово повторних навантажень. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2007.

Дисертацію присвячено визначенню несучої здатності, тріщиностійкості і деформативності стиснутих і згинальних залізобетонних елементів підсилених акриловим полімеррозчином товщиною 3, 6 і 9 мм, при дії короткочасного статичного і багаторазово повторного навантаження з частотою 7; 4,2 і 0,1 Гц.

Установлено, що з збільшенням товщини обойми до 9 мм несуча здатність як стиснутих, так і згинальних залізобетонних елементів зростає в середньому на 24...74%, віддаляється момент тріщиноутворення.

Уперше виконано експериментальні дослідження елементів, підсилених акриловим полімеррозчином, багаторазово повторним навантаженням з частотою 7; 4,2 і 0,1 Гц.

Установлено, що з збільшенням товщини підсилюючого шару довговічність залізобетонних елементів зростає до 70% у порівнянні з контрольними. При переході від частоти 4,2 Гц до частоти 0,1 Гц при одному й тому ж рівні навантаження і коефіцієнті асиметрії циклу довговічність як стиснутих, так і згинальних залізобетонних елементів зменшується в 10...11 разів.

Описано технологію підсилення і ремонту залізобетонних елементів акриловим полімеррозчином. Здійснено дослідно-промислове впровадження результатів роботи.

**Ключові слова:** акриловий полімеррозчин, несуча здатність підсилення, багаторазово повторне навантаження, частота, тріщиностійкість, витривалість.

### **АННОТАЦІЯ**

Смолянинов М.Ю. Повышение прочности и трещиностойкости железобетонных элементов, усиленных акриловым полимерраствором, при действии кратковременных статических и многократно повторных нагружений. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения, Харьков, 2007.

Диссертация посвящена определению несущей способности, трещиностойкости и деформативности центрально сжатых и изгибаемых железобетонных элементов, усиленных акриловым полимерраствором при действии кратковременных статических и многократно повторных нагружений с частотами 7; 4.2 и 0,1 Гц.

Исследовано влияние толщины усиливающего или соединяющего слоя акрилового полимерраствора на прочность бетона на растяжение путем раскалывания специальных кубов с ребром 150 мм. Толщина усиливающего или соединяющего слоя – 3, 6 и 9 мм. По результатам испытаний установлено, что с увеличением толщины усиливающего слоя до 9 мм прочность на растяжение увеличивается до 150%.

Показано, что прочность склеенных бетонных элементов на растяжение определяется классом бетона, адгезионными и когезионными характеристиками клеевого слоя.

Исследовано влияние толщины обоймы сжатых железобетонных элементов как при кратковременном статическом, так и многократно повторном нагружениях. Установлено, что с увеличением толщины обоймы до 9 мм несущая способность как сжатых, так и изгибаемых железобетонных элементов увеличивается в среднем на 24...74% по сравнению с контрольными. Приведены расчетные зависимости по определению несущей способности как сжатых, так и изгибаемых элементов в зависимости от толщины усиливающего слоя и схем усиления.

Установлено, что деформации бетона и усиливающего слоя работают совместно вплоть до разрушения железобетонного элемента. Значительно отдалается момент трещинообразования.

Установлено, что независимо от вида поперечного сечения, несущая способность изгибаемых железобетонных элементов увеличивается в зависимости от схемы усиления и толщины усиливающего слоя.

Получено, что прогибы железобетонных балок в 1,15...2,02 раза меньше в зависимости от схемы усиления и толщины усиливающего слоя.

Впервые выполнены экспериментальные исследования сжатых и изгибаемых железобетонных элементов, усиленных акриловым полимерраствором, многократно повторным нагружением с частотой 7; 4,2 и 0,1 Гц при уровне нагружений 0,33...0,7 и коэффициенте асимметрии цикла 0,11...0,35. Приведены аналитические зависимости по определению относительного предела выносливости.

Установлено, что с увеличением толщины усиливающего слоя выносливость железобетонных элементов возрастает.

Получено, что при переходе от частоты 4,2 Гц к частоте 0,1 Гц при одном и том же уровне нагружений и коэффициенте асимметрии цикла число циклов до разрушения (долговечность) как сжатых, так и изгибаемых железобетонных элементов уменьшается в 10...11 раз.

Результаты исследований показывают, что обойма из акрилового полимерраствора толщиной 3 мм приводит к увеличению несущей способности железобетонных балок как при кратковременном статическом, так и многократно повторном нагружениях на 15...25%, а также к увеличению числа циклов до разрушения при одинаковых уровнях нагружений и коэффициенте асимметрии циклов на 25...35%, отдалается момент появления трещин.

Описаны технология усиления и ремонта железобетонных элементов акриловыми полимеррастворами, экология и техника безопасности. Осуществлено опытно-промышленное внедрение результатов диссертационной работы на предприятиях ОАО "Южспецстрой" (г. Харьков), ООО "Омега" (г. Харьков).

**Ключевые слова:** акриловый полимерраствор, несущая способность усиления, деформативность, многократно повторное нагружение, частота, усиление, выносливость.

#### ANNOTATION

Smolyaninov M.Yu. The increase of reinforced concrete elements strength and crack resistance of acrylic composition solution under short-term static and frequent loading. – Manuscript.

The dissertation for the degree of a candidate of technical sciences on speciality 05.23.01 – building structures, building and constructions. Kharkiv, 2007.

The thesis is devoted to the determination of bearing capacity, crack resistance and deformation of compressed and bended reinforced concrete element's strengthened by acrylic polymer solution with the thickness of 3; 6 and 9 mm under short-term static repeated loading with the frequencies 7; 4,2 and 0,1 Hz.

It has been determined that when an iron ring thickness increases up to 9 mm, bearing capacity both on compressed and on bended reinforced concrete elements increases by 24...74% and the moment of crack formation is expected to postpone.

Experimental investigation of reinforced concrete elements strengthened by acrylic polymer solution and repeated loading with the frequency 7; 4,2 and 0,1 Hz have been carried out for the first time. It has been determined that when the thickness of a strengthening layer increases durability of reinforced concrete elements increases up to 70% in comparison with the control elements. When changing the frequency from 4,2 Hz to 0,1 Hz with the same loading and efficiency of a cycle asymmetry, durability both of compressed and bended reinforced concrete elements decreases by 10...11 times.

The technology of strengthening and repairing reinforced concrete elements by acrylic polymer solution is described. Industrial application of the data obtained has been carried out.

**Key words:** acrylic polymer solution, bearing capacity, strengthening, repeated loading, frequency, crack resistance, endurance.

**Смолянiнов Михайло Юрiйович**

**ПiДВИЩЕННЯ МiЦНОСТi Й ТРiЩИНОСТiЙКОСТi ЗАЛiЗОБЕТОННИХ  
ЕЛЕМЕНТiВ, ПiДСИЛЕНИХ АКРИЛОВИМ ПОЛiМЕРРОЗЧИНОМ, ПРИ Дiї  
КОРОТКОЧАСНИХ СТАТИЧНИХ I БАГАТОРАЗОВО ПОВТОРНИХ  
НАВАНТАЖЕНЬ**

Автореферат  
дисертацiї на здобуття наукового ступеня  
кандидата технiчних наук

Вiдповiдальний за випуск к.т.н., доцент Гарбуз А.О.

---

Пiдп. до друку 05.12.2007	Формат 60x84 1/16	Папiр офiсний
Друк на ризографi	Умовн.-друк. арк. 0,9	
Замовл. №	Тираж 100 прим.	Безкоштовно

---

61002, Харкiв, ХНАМГ, вул. Революцiї, 12

---

Сектор оперативної поліграфії ІОЦ ХНАМГ  
61002, Харкiв, ХНАМГ, вул. Революцiї, 12