

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

ЗАДОРОЖНИКОВА ІРИНА ВІКТОРІВНА

УДК 624.012.:69.059

**ПІДСИЛЕННЯ СТЧУТОЇ ЗОНИ, ЯК ЗАСІБ ВІДНОВЛЕННЯ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЯКОСТЕЙ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЗГІНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

ЛЬВІВ – 2006

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Луцькому державному технічному університеті (ЛДТУ)
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор **БАРАШИКОВ Арнольд Якович**, завідувач кафедри залізобетонних конструкцій Київського національного університету будівництва та архітектури (м. Київ)

Офіційні опоненти : – доктор технічних наук, професор **ДЕМЧИНА Богдан Григорович**, Національний університет „Львівська політехніка” Міністерство освіти і науки України, завідувач кафедри залізобетонних конструкцій та мостів (м. Львів);
- кандидат технічних наук, доцент **БАРАБАШ Василь Михайлович**, Львівський державний аграрний університет Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри будівельних конструкцій (м. Дубляни).

Провідна установа – Національний університет водного господарства та природокористування, кафедра Міністерства освіти і науки України (м. Рівне).

Захист дисертації відбудеться 9 червня 2006 р., о 15 годині, на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.17 при Національному університеті “Львівська політехніка” за адресою: 79646, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, головний корпус, кімн. 226.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79646, Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий ____ травня 2006 р.

-

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

П.Ф.Холод

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогоднішній день, незважаючи на велику кількість досліджень, присвячених підсиленню конструкцій пропозицій щодо урахування специфічних властивостей ефективних матеріалів не вистачає. Використання сучасних високоміцних матеріалів для підсилення вимагає відповідних способів розрахунку, які могли б відбивати реальний напружено-деформований стан підсилених конструкцій. До сьогодні практично не існує відповідного узагальнення оцінювання міцності, тріщиностійкості та деформативності підсилених конструкцій при різних властивостях підсилюючого матеріалу, особливо, при підсиленні елементів у стиснутій зоні. Окремі рішення знайдені лише для згинальних залізобетонних елементів, підсилених у стиснутій зоні.

Недостатньо вивчені закономірності спільної роботи у стиснутій зоні шарів підсилення з основною підсилюваною конструкцією. Не знайдено науково обґрунтованих рекомендацій щодо визначення міцності контактних швів, від якої суттєво залежить ефективність роботи підсиленої конструкції.

В останні роки відбувається перегляд чинних нормативних документів та розробляються нові Державні будівельні норми України з проектування залізобетонних конструкцій. В них запроваджено більш прогресивний та обґрунтований метод розрахунку за деформаційною моделлю. Впровадження цього методу вимагає великої роботи з апробації його для різних конструкцій. Якщо для розрахунку непідсилених конструкцій реалізація деформаційного методу має достатнє обґрунтування, то розробка розрахункових положень для підсилених залізобетонних елементів на сьогоднішній день недостатня і потребує широких експериментально-теоретичних досліджень.

Викладене вище, дає змогу віднести пропоновану роботу до актуальних, яка має теоретичне і практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в рамках досліджень кафедри промислового та цивільного будівництва Луцького державного технічного університету та держбюджетної теми № 49 – ДБ “Ефективні способи підсилення залізобетонних конструкцій будівель і споруд” Міносвіти і науки України.

Мета і задачі дослідження. Основною метою пропонованої роботи є порівняння ефективності підсилення стиснутої зони згинальних елементів різними матеріалами, як новими (сталевібробетон, полімербетон), так і традиційними (звичайний важкий дрібнозернистий бетон).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі, перелічені нижче:

- запроектувати та дослідити зразки які в усіх випадках руйнувалися по розтягнутій арматурі, тобто давали змогу виявити вклад підсилюючого шару бетону, так би мовити у “чистому” вигляді;
- виявити вплив деформаційних властивостей використовуваних підсилюючих матеріалів (сталевібробетону, полімербетону, дрібнозернистого бетону) у стиснутій зоні на несучу здатність елемента;

- використати нові сучасні методи розрахунку за деформаційною моделлю при визначенні несучої здатності балок, а результати порівняти з існуючим методом розрахунку за граничними зусиллями;
- уточнити методіку розрахунку елементів, підсилених у стиснутій зоні за другою групою граничних станів: визначити моменти тріщиноутворення, ширину розкриття тріщин, деформації, прогини балок;
- дослідити вплив тріщин, які мали місце перед підсиленням, на параметри елементів, що характеризують тріщиностійкість та деформації елементів.

Для досягнення цієї мети згинальні елементи були розраховані таким чином, щоби за можливістю нейтральна вісь проходила на межі шару підсилення з основним бетоном балки.

Наукова новизна одержаних результатів:

- досліджено та проаналізовано напружено-деформативний стан залізобетонних балок, підсилених у стиснутій зоні шаром полімербетону, сталевібробетону та дрібнозернистого важкого бетону;
- проведено аналіз зміння міцності залізобетонних згинальних елементів, підсилених у стиснутій зоні різними матеріалами в залежності від їх деформативних і міцнісних властивостей;
- внесені пропозиції щодо розрахунку підсилених залізобетонних згинальних елементів за деформаційною моделлю;
- вивчено та проаналізовано характер тріщиноутворення, розкриття тріщин та прогинів в дослідних балках від початку навантаження до руйнування;
- розглянуто особливості розрахунку підсилених у стиснутій зоні залізобетонних елементів за другою групою граничних станів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості проектування залізобетонних конструкцій, підсилених у розтягнутій зоні шаром сталевібробетону, полімербетону та важкого дрібнозернистого.

Результати роботи використовуюються у навчальному процесі.

Особистий внесок здобувача. Проаналізовано напружено-деформативний стан підсилених у стиснутій зоні залізобетонних конструкцій, їх міцнісні характеристики, характер утворення і розкриття тріщин та прогини дослідних балок. Дано пропозиції щодо особливостей розрахунку міцності нормальних перерізів підсилених згинальних елементів за деформаційною моделлю, визначення тріщиностійкості та прогинів підсилених балок.

Апробація результатів дисертації. Окремі положення дисертації оприлюднено на науково-технічних конференціях в м. Луцьку (2003, 2004, 2005 рр.), на міжнародній науковій конференції молодих вчених “Соціальні напрямки розвитку архітектури та будівництва” у м. Києві (2005 р.) та на VII міжнародній науково-технічній інтернет-конференції у м. Харків (2005 р.)

Публікації. За результатами досліджень опубліковано вісім статей у збірниках наукових праць, в тому числі 4 у наукових фахових виданнях.

Структура і об'єм роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків та положень, списку використаних джерел та додатків. Обсяг дисертації становить 136 сторінок основного тексту, 35 рисунків,

14 таблиць, список використаних джерел з 119 найменувань на 12 сторінках, чотири додатки на 4 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито суть і стан наукової проблеми, обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, викладені мета, основні завдання дослідження, наукова новизна та практична цінність.

У першому розділі викладений стан питання та сформульовані задачі досліджень ефективності підсилення залізобетонних згинальних елементів високоміцними матеріалами, проаналізовані результати досліджень залізобетонних елементів, підсилених різними способами. Вирішено для співставлення у підсилюваному шарі, окрім важкого дрібнозернистого бетону використати сучасні матеріали, які у останні роки широко застосовують при підсиленні залізобетонних конструкцій це сталеві фібробетон та полімербетон.

Також в першому розділі наведені фізико-механічні властивості сталеві фібробетону і полімербетону як підсилюючих матеріалів. У цьому плані проаналізовані роботи дослідників, які вивчали властивості матеріалів конструкцій, підсилених різними матеріалами: Б.А. Ашимова, А.Я. Барашикова, В.В. Білозіра, С.В. Бондаренка, Б.А. Боярчука, О.Б. Голишева, О.І. Валового, М.С. Золотова, А.Касасбеха, О.П. Крічевського, С.О. Крічевського, Д.Н.Лазовського, О.І. Мальгамова, Л.А.Мурашка, А.Салеха, О.П.Сунака, І.М. Ткаченка, Г.Н.Хайдукова, О.Л. Шагіна, В.С. Шмуклера і багатьох інших.

Далі наведено аналіз існуючих методів розрахунку залізобетонних конструкцій, підсилених шарами сталеві фібробетону, полімербетону, відмічено недосконалість цих методів. А також представлено розрахунок контактних швів.

Закінчується перший розділ оглядом експериментальних досліджень підсилених у стиснутій зоні залізобетонних згинальних елементів і сформульована задача досліджень.

У другому розділі наведено методику експериментальних досліджень залізобетонних згинальних елементів, підсилених нарощуванням стиснутої зони шарами сталеві фібробетону, полімербетону, армованого полімербетону та дрібнозернистого армованого бетону.

Експериментальні балки виготовлялись в заводських умовах. На рис. 1 наведено конструкцію експериментальних непідсилених балок.

Рис. 1. Конструкція експериментальних балок до підсилення:

К – 1- сталевий каркас; 1 – $\varnothing 10$ А-III; 2...4 – $\varnothing 3$ В_p-I

Програма випробувань і обсяг дослідних зразків наведені у табл 1.

Зразки виготовляли з важкого бетону, для приготування якого використовували портландцемент М400 Кам'янець-Подільського цементного комбінату. Були прийняті такі заповнювачі: пісок з Радошинського піщаного кар'єру з модулем крупності $M_k = 1,8$ і щебінь з максимальною крупністю зерен 20 мм. Витрати матеріалів на 1 м^3 бетону склали: цементу 310 кг, щебню 1180 кг, піску 651 кг, води 195 л, тобто зі співвідношенням 1:2,1:3,8 при В/Ц=0,63.

Для підсилення балок другої серії використовували сталеві фібробетон, дрібнозернистий бетон та 3% дротяної фібри діаметром $\varnothing 1\text{ мм}$ довжиною 80...100 мм з відпрацьованих канатів марки ЛК-0,6x19 зі співвідношенням $v_{f/l} = 80...100$. Для знежирення фібри були витримані у бензині та просушені. Складовими для полімербетону, який використовували для підсилення балок третьої та четвертої серій були: в'яжучі - епоксидна смола ЕД-20; пластифікатор - поліефірна смола МГФ-9; затверджувач - поліетіленполіамін ПЕПА, та суміш піску з портландцементом М500 при П/Ц=3:1 у співвідношенні складових 7:1:30.

П'ята серія балок підсилена важким дрібнозернистим бетоном, який виготовляли з портландцементу М 500 і піску $M_k = 1,8$ при співвідношенні складових 1:1,5:6,0 та В/Ц = 0,8.

Усього було випробувано 20 зразків балок.

Міцнісні та деформативні характеристики основного бетону експериментальних балок а також полімербетону, сталеві фібробетону та дрібнозернистого бетону, які використовували для

підсилення стиснутої зони залізобетонних балок, визначали за результатами випробувань контрольних зразків кубів та призм з розмірами $100 \times 100 \times 100$ мм та $100 \times 100 \times 400$. Зразки для випробування виготовляли серіями по 12 штук в кожній (6 призм, 6 кубів) з одного замісу бетону відповідних балок які тужавіли у ідентичних умовах, що і балки.

Після підсилення балок, визначали міцність підсилюючого шару неруйнівним методом за допомогою молотка Кашкарова.

Щоб визначити міцнісні та деформативні властивості арматури дослідних зразків використали розривну машину МП-500. На ній випробували 7 зразків арматури класу $\varnothing 10$ А III, 7 зразків - $\varnothing 8$ А III та 10 зразків – $\varnothing 3$ В_pI В_pI та сталеві фібри, виготовлені з відпрацьованих канатів марки ЛК – 0,6 x 19.

Для порівняння дослідом було передбачено два випадки початкового напружено-деформативного стану зразка перед підсиленням. Частина підсилення балок виконували без їх попереднього навантаження тобто імітували елементи, які ще не вичерпали свій ресурс, але у зв'язку зі збільшенням проєктного навантаження вимагають підсилення. Друга частина моделювала балки, які знаходилися в експлуатації, під час якої в розтягнутій зоні з'явилися тріщини. Для цього балки попередньо навантажували зусиллям, яке складало приблизно 0,7...0,8 від

руйнівного. Таким чином було досягнуто утворення тріщин шириною розкриття 0,2....0,3 мм. Після розвантаження вони були підсилені (див. табл. 1).

Експериментальні випробування дослідних балок проводили при короткочасному навантаженні на універсальному гідравлічному пресі МС-100 за схемою однопрольотної вільноопертої балки, навантаженої у третинах прольоту.

У процесі випробування величину навантаження контролювали взірцевим манометром гідравлічної станції, деформації граней балки та прогини фіксували компаратором з індикаторами ціною поділки 0,002 мм та прогиноміри Максимова. Для визначення моменту появи та розвитку тріщин використовували мікроскоп МП-2 з ціною поділки 0,05 мм.

Таблиця 1.

Програма випробувань балок

№ серії	Маркування балок	Спосіб підсилення і його шифр	Поперечний переріз зразків	Мета випробування
1	2	3	4	5
1	Б 1-1 Б 1-2 Б 1-3 Б 1-4	Без підсилення (базова серія) 0		Визначення міцності, тріщинотійкості і жорсткості короточасними випробуваннями
2	БС 2-1 БС 2-2	Балки, підсилені сталевібробетоном без попереднього навантаження 1-1	<i>Сталевібробетон</i> 	Утворення і розкриття тріщин у підсиленій конструкції. Оцінка динаміки росту тріщин в балці. Визначення деформацій по висоті поперечного перерізу балки, прогинів по довжині балки
	БСН 2-1 БСН 2-2	Балки, навантажені до рівня 0,7 - 0,8 від руйнівного з появою тріщин у розтягнутій зоні, а потім підсилені сталевібробетоном у стиснутій зоні 1-2		
3	БП 3-1 БП 3-2	Балки, підсилені полімербетоном без попереднього навантаження 2-1	<i>Полімербетон</i> 	Утворення і розкриття тріщин у підсиленій конструкції. Оцінка динаміки росту тріщин в балці. Визначення деформацій по висоті перерізу балки.
	БПН 3-1 БПН 3-2	Балки, навантажені до рівня 0,7 - 0,8 від руйнівного з появою тріщин у розтягнутій зоні, а потім підсилені Полімербетоном у стиснутій зоні 2-2		

4	БП _А 4-1 БП _А 4-2	Балки, підсилені полімербетоном із підведенням додаткової арматури без попереднього навантаження 3-1	<p style="text-align: center;"><i>Полімербетон</i></p>	Утворення і розкриття тріщин у підсиленій конструкції. Оцінка динаміки росту тріщин в балці. Визначення деформацій по висоті поперечного перерізу балки. Визначення прогинів по довжині балки
	БП _{АН} 4-1 БП _{АН} 4-2	Балки, навантажені до рівня 0,7 - 0,8 від руйнівного з появою тріщин у розтягнутій зоні, а потім підсилені полімербетоном і арматурою у стиснутій зоні 3-2		
5	БТ 5-1 БТ 5-2	Балки, підсилені дрібнозернистим бетоном і арматурою у стиснутій зоні без попереднього навантаження 4-1	<p style="text-align: center;"><i>Бетон класу В15</i></p>	Утворення і розкриття тріщин у підсиленій конструкції. Оцінка динаміки росту тріщин в балці. Визначення деформацій по висоті перерізу балки. Визначення прогинів по довжині балки
	БТН 5-1 БТН 5-2	Балки, навантажені до рівня 0,7-0,8 від руйнівного з появою тріщин у розтягнутій зоні, а потім підсилені дрібнозернистим бетоном і арматурою у стиснутій зоні 4-2		

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням міцності згинальних залізобетонних елементів підсилених у стиснутій зоні.

Проаналізувавши результати, отримані після випробувань при короткочасному навантаженні з інтенсивністю в діапазоні $0 < \eta \leq 1$, де $\eta = \frac{M}{M_u}$,

було визначено три характерних стадії напружено-деформативного стану перерізів.

Перша стадія напружено-деформативного стану для непідсиленних балок зберігається в межах навантажень інтенсивністю $0 \leq \eta \leq 0,4$ від руйнівних.

В першій стадії напружено-деформативного стану бетон підсилюваного елемента по відношенню до підсилюючого шару, крім дрібнозернистого бетону є менш деформативним матеріалом і стримує зростання деформацій шару підсилюючого бетону по усій площі контакту з бетоном стиснутої зони підсиленої балки. Підсилюючий шар бетону включається в роботу перерізу поступово, деформації стиснутої зони зі зростанням навантаження збільшуються.

Друга стадія напружено-деформативного стану відбувається в межах рівней навантаження $0,4 < \eta < 0,7$ від руйнівного, що відповідає експлуатаційному навантаженню. Ця стадія характеризується практично лінійними змінами деформацій стиснутого бетону по висоті перерізу. Тріщини, що з'являються, розкриваються, між первісними утворюються нові тріщини.

Слід звернути увагу на те, що в балках усіх серій, які були попередньо навантаженні, ширина розкриття тріщин була практично однаковою.

Наприкінці другої стадії напружено-деформативного стану у центральній частині деяких підсиленних балок починається часткове розшарування, яке становить 8...15% довжини зони зчеплення підсилюючого шару бетону та бетону основної конструкції балки. Але відшарування проходить по-різному. Перше та найбільше на цій стадії (до 15%) відшарування спостерігається у балок підсиленних дрібнозернистим бетоном. Найменше - у балок підсиленних полімербетоном. При цьому відокремлення вищезгаданих бетонів підсилення раніше відбувається у балках, які були попередньо навантажені, а потім – підсилені. Це можна пояснити більш швидким розвитком утворених під час попереднього навантаження тріщин на відміну від утворених під час випробувань у підсиленому вигляді.

Третя стадія напружено-деформативного стану, при якій навантаження становлять 0,8...0,9 від руйнівного, для непідсиленних балок характеризується появою і розвитком похилих тріщин. Початок третьої стадії напружено-деформативного стану нормального перерізу балок характеризується перерозподілом напружень у стиснутій зоні з бетону балок на підсилюючий шар.

На цій стадії збільшується розшарування у стиснутій зоні.

Зразки балок, підсиленних шаром сталевібробетону (серії БС, БСН) та дрібнозернистого бетону (БТ, БТН), зруйнувалися внаслідок руйнування контактної зони на відстані між прикладеними вертикальними зусиллями. При цьому стиснута зона підсилення балок лишилася практично не зруйнованою. Це свідчить про те, що чинником руйнування означених зразків виявилася міцність контактної зони з початком текучості арматури. Намагання збільшити навантаження на зазначені зразки після досягнення розтягнутою арматурою межі текучості призводить до інтенсивного зростання прогинів, збільшення ширини розкриття тріщин, розвитку їх по висоті. Основні (критичні) нормальні тріщини досягають підсилюючого шару. Однак, навіть після цього руйнування бетону стиснутої зони та шару підсилення не відбувається. З точки зору поступовості (пластичності) руйнування такий характер втрати несучої здатності можна розцінювати позитивно, особливо, у екстремальних

ситуаціях (наприклад, при наявності особливих навантажень - землетрусах, вибухах тощо).

Інший характер руйнування мають балки, підсилені шаром полімербетону (серії БП, БП_А, БП_{АН}). Завдяки підвищеному зчепленню полімербетону з основним бетоном балки, внаслідок високої склеювальної спроможності полімербетону, розшарування стиснутої зони не відбувається, навіть після початку текучості арматури. Стиснута зона зразка працює сумісно до повного руйнування, після чого балка розколюється навпіл. Однак і у цьому випадку розриву арматури не спостерігали і цілісність балки зберігалася, крихкого руйнування не відбувається.

За результатами отриманих способів руйнування можна рекомендувати виконувати якомога міцніше зчеплення підсилюючих шарів з підсилюваними елементами.

Найбільше прирощення несучої здатності у межах 24...26%, виявилася у балках, підсилених армованим шаром полімербетону. Тут міцнісні властивості підсилюючого шару використані найбільше ефективно, внаслідок кращого зчеплення бетону балки з шаром підсилення. У цьому випадку арматура підсилення та оцупки скріплення становили додаткові конструктивні умови підвищення зчеплення підсилюючого шару з бетоном підсилюваної балки. На другому місці виявилися – балки серій БС та БСН, підсилені сталевібробетоном, величина збільшення міцності яких становить 21...25%. Третя позиція з точки зору збільшення міцності – 19...22%, це - балки підсилені неармованим полімербетоном. Та, відповідно, найменше збільшення несучої здатності – 13...17%, виявили дослідні зразки, підсилені армованим дрібнозернистим бетоном.

Наведені сучасні методи визначення несучої здатності нормальних перерізів непідсилених та підсилених залізобетонних згинальних елементів за деформаційною моделлю. У розрахунках несучої здатності нормальних перерізів, що згинаються, за спрощеною методикою деформаційної моделі, використовуються такі гіпотези та припущення:

- зв'язок між напруженнями та деформаціями бетону приймають у вигляді дволінійної діаграми (діаграми Прантля), наведеної на рис.2, а;

- зв'язок між напруженнями та деформаціями арматури теж приймають у вигляді дволінійної діаграми (діаграми Прантля), наведеної на рис.2, б;

- для середніх деформацій стиснутого бетону та розтягнутої арматури вважають справедливим лінійний закон розподілу деформацій на висоті перерізу (гіпотеза плоских перерізів);

- за розрахунковий приймають переріз, деформації якого дорівнюють середнім деформаціям по довжині блоку між тріщинами;

- опір розтягнутої зони бетону не враховують, приймаючи при $\varepsilon_{bi} \leq 0$ напруження $\sigma_{bi} = 0$

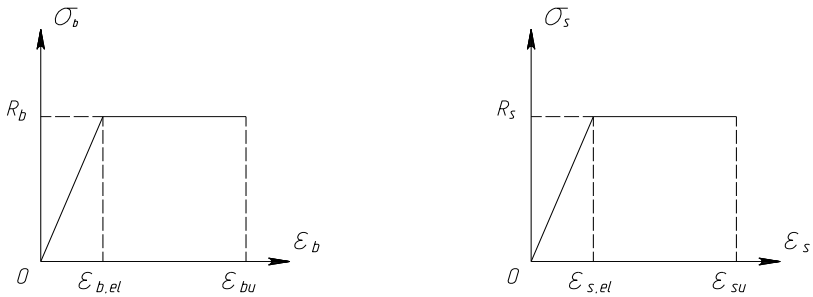


Рис. 2. Діаграми “ $\sigma - \varepsilon$ ” стану бетону (а) і арматури (б) для розрахунку несучої здатності елемента.

Для підсилення елементів приймають додаткові окрім визначених гіпотези та припущення, а саме:

- у стиснутій зоні шари підсилення працюють сумісно з елементами підсилення аж до самого моменту руйнування;
- стиснута зона може охоплювати один, або обидва матеріали: підсилюваного та підсиленого.

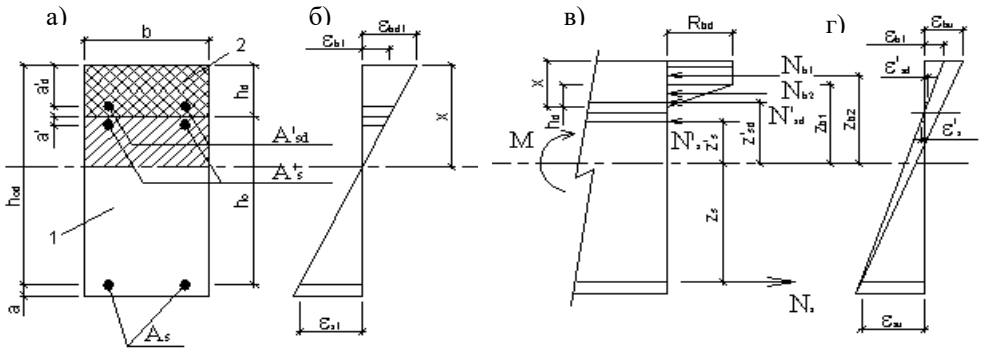


Рис. 3. Розрахункова схема деформацій та напружень при визначенні несучої здатності балок, підсилених у стиснутій зоні: а – поперечний переріз; б – епюра деформацій у випадку коли стиснута зона охоплює підсилюючий шар; в – спрощена епюра напружень, коли нейтральна вісь перетинає шар підсилення; г – схема ітерацій;

1 – підсилювана конструкція; 2 – шар підсилення.

Отримане рівняння рівноваги усіх зусиль, які діють у розглядуваному перерізі за деформаційною моделлю. Згідно з рис. 3 рівняння рівноваги має вигляд

$$\frac{R_b b}{2\aleph} (2\varepsilon_{b1} - \varepsilon_{b,el}) + E'_{sd} A'_{sd} (\varepsilon_{b1} - a'_d \aleph) - E'_s A'_s \varepsilon_{su} \frac{a'}{a'_d - \varepsilon_{b1} / \aleph} - R_s A_s = 0, \quad (1)$$

де $R_b, E'_{sd}, E'_s, A'_{sd}, A'_s$ - відповідні параметри бетону і арматури для елементів підсилення і стиснутої зони перерізу.

Умову міцності підсиленого перерізу записують таким чином

$$M \leq M_{ult} = \frac{R_b b}{6N^2} (3\varepsilon_{b1}^2 - \varepsilon_{b,el}^2) + E'_{sd} A'_{sd} (\varepsilon_{b1} - N a'_d) \left(\frac{\varepsilon_{b1}}{N} - a'_d \right) + E'_s A'_s \varepsilon_{su} \frac{a'}{a'_d - \varepsilon_{b1}/N} \left(a' - \frac{\varepsilon_{b1}}{N} + a'_d \right) + R_s A_s \left(h_{0d} - \frac{\varepsilon_{b1}}{N} \right) \quad (2)$$

Розрахунок ведуть методом послідовних наближень (методом ітерації) за наведеним алгоритмом:

1. Перевірити рівняння рівноваги (1), приймаючи $\varepsilon_{b1} = \varepsilon_{bu}$ та $\varepsilon_s = \varepsilon_{su}$. За результатами обчислення рівняння (1) можуть реалізуватися два випадки:

– перший: ліва частина більша за нуль, що свідчить про недостатність армування перерізу;

– другий: ліва частина менша за нуль, що означає переармування перерізу.

2. При реалізації першого випадку, тобто коли ліва частина більша за нуль, необхідно виконати такі операції:

а) визначити нову величину деформації ε_{b1} :

$$\varepsilon_{b1}^{(1)} = \varepsilon_{bu} - \Delta \varepsilon_{b1}^{(1)}, \quad (3)$$

при цьому на першому кроці (першій ітерації) рекомендується приймати

$$\Delta \varepsilon_{b1}^{(1)} = 0,1 \varepsilon_{bu}; \quad (4)$$

б) перевірити рівняння рівноваги (1) і, якщо ліва частина залишилася більшою за нуль, деформацію $\varepsilon_{b1}^{(2)}$ на другому кроці необхідно ще раз зменшити на величину

$$\Delta \varepsilon_{b1}^{(2)} = \Delta \varepsilon_{b1}^{(1)}, \quad (5)$$

тобто прийняти $\varepsilon_{b1}^{(2)} = \varepsilon_{b1}^{(1)} + \Delta \varepsilon_{b1}^{(2)} = \varepsilon_{b1}^{(1)} + 2\Delta \varepsilon_{b1}^{(1)}$, (6)

в) покрокове зменшення деформацій виконують до тих пір, поки ліва частина рівняння (1) не зменшить знак.

3. Після зміни знаку рівняння рівноваги (1) оцінюють точність рішення. Точність вважають достатньою при значенні

$$\Delta \varepsilon_{b1}^{(k)} \leq 0,02 \varepsilon_{bu} \quad (7)$$

4. У випадку, коли точність рішення недостатня, тобто умова (7) не виконується, визначають нову величину деформації

$$\varepsilon_{b1}^{(m)} = \varepsilon_{b1}^{(m-1)} + \Delta \varepsilon_{b1}^{(m)} \quad (8)$$

де призначають нову величину прирощення деформацій

$$\Delta \varepsilon_{b1}^{(m)} = 0,1 \Delta \varepsilon_{b1}^{(m-1)} = 0,01 \varepsilon_{bu}. \quad (9)$$

Далі виконують обчислення за п.п.а), б), в) до тих пір, поки не буде досягнута достатня точність виконання умови (1) при значенні

$$\Delta \mathcal{E}_{b_i}^{(m)} \leq 0,02 \mathcal{E}_{b_i} . \quad (10)$$

При реалізації другого випадку, тобто коли ліва частина виявилася менше нуля, операцію перевірки рівняння (1) виконують у тій же послідовності.

5. Отримані на останніх кроках рішення рівняння (1) величини \mathcal{E}_{b_i} та \mathcal{N} використовують при обчисленні згинального моменту M_{ult} за формулою (2).

Необхідний переріз арматури з рівняння (1) можна знайти за формулою

$$(11)$$

Співставлення експериментальних і теоретичних результатів міцності підсиленних залізобетонних елементів (табл. 2) показує, що для простих статично визначених згинальних елементів результати розрахунків за деформаційним методом і традиційним методом граничних зусиль практично співпадають і дають задовільні результати. Однак, деформаційний метод дозволяє визначити ступінь використання стиснутої зони бетону, а у розглядуваному випадку – ефективність використання шарів підсилення.

У четвертому розділі представлені експериментальні та теоретичні значення тріщиностійкості та деформативності підсиленних згинальних елементів.

Згідно з отриманими результатами, після проведення експериментальних досліджень, встановлено вплив підсилення стиснутої зони згинальних елементів на тріщиностійкість досліджуваних балок.

Матеріал підсилення незначно впливає на тріщиностійкість балок. Відносна величина тріщиностійкості для усіх випробуваних зразків знаходиться у межах 0,28...0,32 від руйнуючого навантаження. Ця величина характерна для ненапружених залізобетонних зразків.

Найбільше підвищення тріщиностійкості, у порівнянні з непідсиленними зразками, спостерігається у балках підсиленних армованим полімербетоном, у межах 34...40%. На другому місці – балки підсилені полімербетоном. Підвищення становить 35...39 %. Балки підсилені сталевібробетоном мають підвищення тріщиностійкості 34...38 %. Найменше підвищення – у балках підсиленних традиційним дрібнозернистим бетоном – менше 10 %.

Абсолютна величина тріщиностійкості найбільша у балок, підсиленних армованим полімербетоном і полімербетоном без підведення додаткової арматури, що, очевидно, пов'язано зі збільшенням висоти і підвищеними деформативними властивостями сталевібробетону і полімербетону. Розглядаючи ширину розкриття

тріщин, при однаковому згинальному моменті $M=20$ кНм можна відмітити, що підсилені балки показали меншу ширину розкриття тріщин у порівнянні з непідсиленими.

Випробування показали, що непідсилені балки серії Б при експлуатаційному рівні навантаження мають $a_{crc}=0,18...0,21$ мм.

Встановлено, що різні способи підсилення мало впливають на ширину розкриття тріщин. Балки усіх серій підсилені сталевібробетоном, полімербетоном, армованим полімербетоном та шаром дрібнозернистого бетону з підведенням додаткової арматури у стиснуту зону мали $a_{crc}=0,11...0,15$ мм. Тільки балки серії БПД показали найменшу ширину розкриття тріщин, яка дорівнювала $0,06...0,08$ мм (рис. 4). У балках, які в результаті попереднього навантаження мали тріщини, нові з'явилися практично в тих же перерізах.

Монотонне збільшення навантаження при дослідженні балок після їх підсилення в межах відносних навантажень характеризується практично лінійним зв'язком між прогинами та моментами. Порушення цієї лінійності можна спостерігати тільки при рівнях навантаження вище $0,9$ внаслідок різкого розвитку пластичних деформацій розтягнутої арматури, після чого нахил кривої $M-f$ збільшується у бік прогинів. Зростання прогинів залежить від особливостей розвитку деформацій по висоті перерізу після підсилення балок, що відноситься як до деформацій арматури у розтягнутій зоні, так і до матеріалу підсилення у стиснутій зоні.

У цьому розділі представлений розрахунок залізобетонних згинальних елементів, підсилених нарощуванням стиснутої зони різними матеріалами та наведено порівняння теоретичних і експериментальних результатів.

Враховуючи той факт, що всі дослідні балки, крім однієї, зруйнувалися за нормальним перерізом, в даній роботі розглядається тільки утворення нормальних тріщин.

Розрахунок за утворенням нормальних і похилих тріщин, виконують з умови:

$$M_r \leq M_{crc}, \quad (12)$$

де M_r - момент від повного навантаження, який діє на конструкцію, відносно осі, яка проходить через ядрову точку, найбільш віддалену від розтягнутої зони при перевірці нормальних тріщин, або через точку прикладання рівнодіючої у бетоні стиснутої зони над похилою тріщиною – при перевірці похилої тріщини; M_{crc} - момент, який сприймає нормальний або похилий переріз конструкції при утворенні відповідної тріщини.

При розрахунку на утворення нормальних тріщин у згинальних попередньо ненапружених залізобетонних елементах момент, який сприймає переріз конструкції обчислюють за формулою:

$$M_{crc} = R_{bt,ser1} W_{pl}, \quad (13)$$

де $R_{bt,ser1}$ - нормативний опір бетону підсилюваної конструкції, при обробці дослідних даних прийнято $R_{bt,ser1} = R_{bt1}$; W_{pl} - момент опору зведеного перерізу для крайнього розтягнутого волокна з урахуванням непружних деформацій розтягнутого бетону та приведених характеристик підсилених балок.

Ширину розкриття нормальних тріщин, від нетривалої дії навантаження, підсилених залізобетонних конструкцій обчислюють за формулою

$$a_{crc} = \varphi_l \eta \delta \lambda \frac{\sigma_s}{E_s} d_s, \quad (14)$$

де усі вихідні параметри детально проаналізовані у роботі.

Отримані розрахункові результати при порівнянні з експериментальними показують точність у межах 10...30 %. Представлені методи визначення моменту утворення та ширини розкриття нормальних тріщин підсилених елементів можна вважати задовільними, оскільки вони здатні якісно оцінити результати експериментальних досліджень таких складних елементів які підсилені новими недостатньо вивченими матеріалами балки. Використана при розрахунку деформацій формула для обчислення кривини підсиленого напруженого залізобетонного згинального елемента з тріщинами рекомендована змінами до чинних нормативних документів.

$$\left(\frac{1}{r}\right) = \frac{M \Psi_s}{Z_{red} A_s E_s (h_{0,red} - x_{red})}, \quad (15)$$

де усі вихідні параметри визначені у роботі.

Отримані результати показують задовільну точність. При цьому експериментальні величини прогинів у більшості перевищують теоретичні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Результати експериментальних досліджень визначення міцнісних та деформативних властивостей основного бетону дослідних зразків та бетонів підсилення показали, що встановлені нормами та рекомендаціями характеристики у своїй більшості співпадають з отриманими у проведених дослідженнях.

2. Руйнування усіх серій підсиленних балок відбувається за нормальними перерізами. Характер руйнування – пластичний. Напружено-деформований стан підсиленних балок усіх серій до останнього етапу руйнування змінюється практично однаково. Відмінності у характері руйнування відбуваються тільки на останньому етапі. Зразки балок, підсиленних шаром сталевібробетону та дрібнозернистого бетону, зруйнувалися внаслідок руйнування контактної зони на відстані між прикладеними вертикальними зусиллями. При цьому стиснута зона балок підсилення лишилася практично не зруйнованою. У балках, підсиленних армованим і неармованим шаром полімербетону. Завдяки підвищеному зчепленню полімербетону з основним бетоном балки, внаслідок penetрації розшарування стиснутої зони не відбувається. Стиснута зона зразка працює сумісно до повного руйнування, після чого балка розколюється навпіл.

3. Згідно результатів, отриманих після проведення експерименту, несуча здатність усіх підсиленних дослідних зразків збільшилася на 1,1...1,3 разів. Найбільше прирощення несучої здатності, у межах 24...26%, виявилось у балках підсиленних шаром полімербетону, а найменше збільшення несучої здатності – 13...17% при підсиленні армованим дрібнозернистим бетоном.

4. Співставлення експериментальних і теоретичних даних міцності непідсиленних залізобетонних елементів одержаних в результаті обчислень за чинними нормами та новою запропонованою деформаційною моделлю показує, що теоретичні значення близьки до експериментальних, причому розрахункові величини майже не відрізняються між собою. Однак, деформаційний метод дозволяє визначити ступінь використання стиснутої зони бетону, а у розглядуваному випадку – ефективність використаних шарів підсилення.

5. Найбільше підвищення тріщиностійкості спостерігається у балках підсиленних полімербетоном, у межах 34...40%. На другому місці – балки підсилені полімербетоном, де підвищення становить 35...39 %. Балки підсилені сталевібробетоном мають підвищення тріщиностійкості 34...38 %. Найменше підвищення – у балках підсиленних традиційним дрібнозернистим бетоном – менше 10 %.

6. Випробування показали, що непідсилені балки серії Б при експлуатаційному рівні навантаження мають $a_{cr} = 0,18...0,21$ мм. Підсилені балки решти серій підсилені мали $a_{cr} = 0,11...0,15$ мм. Тільки балки серії БПД показали найменшу ширину розкриття тріщин, яка дорівнювала 0,06...0,08 мм. Встановлено, що різні способи підсилення мало впливають на ширину розкриття тріщин.

7. Підсилення залізобетонних балок у стиснутій зоні позитивно впливає на змінення прогинів. При експлуатаційному рівні навантаження прогини усіх серій досліджуваних підсиленних балок зменшилися у середньому на 10...20% у порівнянні з прогинами контрольних непідсиленних балок серії Б.

8. Розрахунки експериментальних зразків-балок за другою групою граничних станів з урахуванням змін до СНиП, рекомендованих Держбудом України, показують

задоволені результати. Розбіжність між експериментальними і теоретичними результатами не перебільшує 20%.

9. Результати випробувань балок свідчать про те, що при експлуатаційному рівні навантаження підсилені елементи відповідають вимогам чинних норм з точки зору другої групи граничних станів, тобто за тріщиностійкістю та деформативністю.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Сухоносowa І.В. Підсилення залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні сучасними матеріалами / Наукові нотатки. – Луцьк, 2003. – Випуск 13. – С. 335-339.

2. Сухоносowa І.В. Методика експериментальних досліджень залізобетонних балок, підсилених у стиснутій зоні / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: Видавництво УДУВГП, 2004. – Випуск 11. – С. 379-384.

3. Задорожнікова І.В. Огляд експериментальних досліджень підсилення стиснутої зони залізобетонних згинальних елементів / Тези ХІХ-ої науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу. – Луцьк: Н.-н. Відділ ЛДТУ, 2004 - 192 с.

4. Барашиков А.Я., Задорожнікова І.В. Спрощені розрахунки несучої здатності нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів за деформаційною моделлю / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: Видавництво УДУВГП, 2005. – Випуск 12. – С. 109-116.

5. Задорожнікова І.В. Розрахунок контактних швів / Тези ХХ-ої науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу. – Луцьк: Н.-н. Відділ ЛДТУ, 2005 - 101 с.

6. Задорожнікова І.В. Розрахунок згинальних залізобетонних елементів підсилених у стиснутій зоні шаром полімербетону / Матеріали VII Международной научно-технической интернет-конференции. Харьков: ХНАГХ, 2005. – 178 с.

7. Задорожнікова І.В. Експериментальні дослідження міцності підсилених у стиснутій зоні залізобетонних балок / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: Видавництво УДУВГП, 2005. – Випуск 13. – С. 115-121.

8. Задорожнікова І.В. Методика розрахунку міцності перерізів, нормальних до поздовжньої осі балок, підсилених у стиснутій зоні шаром сталевібробетону / Наукові нотатки. – Луцьк, 2005. – Випуск 15. С. 98-103.

Задорожнікова Ірина Вікторівна. Підсилення стиснутої зони, як засіб відновлення експлуатаційних якостей залізобетонних згинальних елементів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – “Будівельні конструкції, будівлі і споруди”. Національний університет “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України. – Львів, 2006.

Проаналізовано та співставлено основні якісні параметри елементів підсилення, які одержані на основі пороведеного експериментального дослідження

залізобетонних зразків балок, підсилених шарами сталевібробетону, неармованого та армованого полімербетону, армованого дрібнозернистого бетону.

Усі дослідження виконані за єдиною методикою, розробленою і апробованою в КНУБА за останні 20 років. Експериментальні зразки уявляють собою залізобетонні балки прямокутного перерізу прольотом 2000 мм. У процесі короточасних випробувань до руйнівних навантажень визначали міцність, тріщиностійкість і деформації непідсилених та підсилених зразків.

За результатами аналізу оцінювали рівень ефективності способу підсилення тими або іншими матеріалами. Виявлено отримані нові міцнісні та деформативні властивості при різних способах підсилення, для яких проведено оцінку основних показників та експлуатаційних якостей.

Запропоновані способи розрахунку несучої здатності підсилених залізобетонних елементів за деформаційною моделлю, які враховують фізико-механічні властивості сучасних ефективних матеріалів, ступінь їх участі у спільній роботі підсилених конструкцій. Враховані нові розробки та досягнення теорії залізобетону для розрахунку конструктивних елементів. Розрахунки за другою групою граничних станів виконані з урахуванням змін до чинних норм.

Ключові слова: бетон, сталевібробетон, полімербетон, залізобетонні балки, підсилення, міцність, тріщиностійкість, деформації, спосіб руйнування, розрахунок.

Задорожникова Ирина Викторовна. Усиление сжатой зоны как способ восстановления эксплуатационных возможностей железобетонных изгибаемых элементов. – Рукопись.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной задачи – изучению эксплуатационных качеств изгибаемых железобетонных конструкций которые усилены эффективными строительными материалами в сжатой зоне. По результатам выполненного обзора литературных источников, касающихся методов усиления железобетонных конструкций в сжатой зоне, выбран предмет и способ экспериментально-теоретических исследований.

Принято решение исследовать железобетонные изгибаемые элементы-балки как инаиболее массовый вид конструкций, которые подвергаются изнашиванию в процессе эксплуатации. В связи с недоступностью по усилению растянутой зоны и формой поврежденного элемента в исследованиях принято вариантный способ усиления сжатой зоны. Для усиления запроектированы следующие слои: неармированный сталевібробетон, неармированный полимербетон, армированный полимербетон, армированный тяжелый мелкозернистый бетон. Для сопоставления результатов параллельно испытаны неусиленные железобетонные балки.

Методика экспериментальных исследований включала изготовление новых материалов усиления (сталевібробетона и полимербетона), технологию приготовления бетонных смесей, бетонирования неусиленных и двухслойных усиленных образцов в производственных условиях. Было предусмотрено два случая начального напряженно-деформационного состояния балок. Перед испытанием половина опытных образцов была нагружена до уровня 0,6...0,7 от разрушающего до появления начальных трещин шириной раскрытия 0,1...0,3 мм, таким образом имитировали балки, которые находились в эксплуатации. После этого балки были

разгружены и усилены тщательной заделкой образовавшихся трещин испытанны до разрушения. Другая часть балок усиливалась без предварительной нагрузки, то есть рассматривался случай когда балки не вычерпали свой ресурс но в связи с увеличением проектного нагружения требуют усиления.

Разрушение всех серий усиленных балок произошло по нормальным сечениям. Характер разрушения – пластический. Балки усиленные слоем сталефибробетона и армированного тяжелого мелкозернистого бетона разрушились в результате разрушения контактной зоны на расстоянии между предложенными вертикальными усилиями. В балках усиленных армированным и неармированным полимербетоном расслоения сжатой зоны не произошло в результате пенетрации. Сжатая зона образца работала совместно до полного разрушения, после чего балки расслоились наполовину.

Проведенные испытания показали, что прочность всех усиленных балок увеличилась в 1,1...1,3 раза. Наибольшее увеличение несущей способности на 24...26 % отмечено у балок усиленных слоем армированного полимербетона, а наименьшее – 13...17% при усилении армированным мелкозернистым бетоном. Отмечено некоторое увеличение прочности железобетонных балок усиленных после предварительного нагружения усилиями эксплуатационного уровня.

Наибольшее увеличение трещиностойкости наблюдается в балках усиленных армированным полимербетоном – 34...40 %. На втором месте – балки усиленные неармированным полимербетоном, где увеличение составляет 35...39%. Балки усиленные сталефибробетоном имеют увеличение трещиностойкости 34...38%. Наименшее – в балках усиленных традиционным мелкозернистым бетоном – меньше 10%.

Усиление сжатой зоны позитивно воздействует на изменения прогибов. При эксплуатационном уровне нагружения прогибы всех серий исследуемых усиленных балок уменьшились в среднем на 10...20% в сравнении с прогибами контрольных неусиленных балок.

Предложенные автором диссертации расчеты экспериментальных образцов-балок за второй группой предельных состояний с учетом изменений СНИП, рекомендованных Держстроем Украины, показали удовлетворительные результаты. Разбежность между экспериментальными и теоретическими результатами не превышают 20 %. Все испытанные конструкции показали, что при эксплуатационном уровне нагружения они соответствуют действующим нормам с точки зрения второй группы предельных состояний, то есть по трещиностойкости и деформативности.

Ключевые слова: бетон, сталефибробетон, полимербетон, железобетонные балки, усиление, прочность, трещиностойкость, деформации, способ разрушения, расчет.

Zadorozhnikova Irina Viktorivna. Compression Region Reinforcement as a Means of Renewing Functional Qualities of Reinforced Concrete Bending Elements. – Manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences in the speciality 05.23.01 – “ Building Units, Buildings, and Structures”.

National University “Lviv Polytechnics” of the Ministry of Education and Science of Ukraine. – Lviv, 2006.

Analysed and compared are the basic quality parameters of reinforcement elements, received on the basis of the conducted experimental research of reinforced concrete beam samples, reinforced with the layers of steel fibre concrete, unreinforced and reinforced polymerconcrete, reinforced fine concrete.

All the research was conducted applying the sole technique, developed and approved at Kyiv National University of Construction and Architecture over the last 20 years. Experimental samples are the reinforced concrete beams of rectangular cross section with 2000 mm bay. In the process of short-term tests to destructive loads determined were the strength, crack growth resistance and deformations of unreinforced and reinforced samples.

By the results of analysis evaluated was efficiency level of the method of reinforced with various materials. Revealed were the received new strength and deformation properties in various reinforcement methods. Evaluation of basic figures and functional qualities was conducted for such methods.

Offered are the methods of calculating bearing strength of reinforced RC elements applying deformational model, which take into account physical and mechanic properties of modern effective materials, degree of their participation in the joint work of reinforced structures. Considered are the new developments and achievements of reinforced concrete theory for calculation of constructive elements. Calculations by the second group of boundary states were made considering the changes to existing norms. **Key words:** concrete, steel fibre concrete, polymerconcrete, reinforced concrete beams, reinforcement, strength, crack growth resistance, deformations, destruction method, calculation.