

ного состояния железобетонного сечения при изгибе // Труды ЦНИИС. Вып.70. – М.: Транспорт, 1969. – С. 67-71.

3.Митрофанов В.П., Арцев С.И. Предельная сжимаемость бетона нормальных сечений железобетонных элементов // Проблемы теории і практики залізобетону: Зб. наук. ст. – Полтава: ПДТУ, 1997. – С. 333-337.

4.Шкурупій О.А., Лазарев Д.М. Розрахунок міцності нормальних перерізів стиснутих залізобетонних елементів із застосуванням екстремального критерію // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип.14. – Рівне: НУВГП, 2006. – С. 374-381.

*Отримано 05.03.2008*

УДК 624.012

**М.Ю.СМОЛЯНИНОВ**

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

### **РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ ОБОЙМОЙ ИЗ АКРИЛОВОГО ПОЛИМЕРРАСТВОРА**

Приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований несущей способности железобетонных балок, усиленных обоймой из акрилового полимерраствора, при кратковременном статическом нагружении. Установлено, что с увеличением толщины обоймы до 9 мм несущая способность балок увеличивается до 72,4%.

При реконструкции зданий и сооружений очень часто возникает проблема усиления и восстановления железобетонных конструкций. На восстановление эксплуатационных качеств строительных конструкций расходуется от 40 до 80% общих затрат, предусмотренных на реконструкцию зданий и сооружений [3].

Одним из эффективных способов решения этой проблемы является усиление и восстановление несущей способности железобетонных элементов акриловыми композициями, использование которых характеризуется отсутствием сложных подготовительных процессов, значительным сокращением затрат материалов, трудовых ресурсов и сроков выполнения указанных работ [10, 11].

Методы расчета усиленных конструкций, особенно с учетом действительной работы материалов при различных видах нагружений изучены недостаточно. Исходя из этого работа является актуальной как с научной, так и с практической точек зрения.

В настоящее время накоплен значительный опыт использования полимерных композиций при ремонте, восстановлении и усилении железобетонных конструкций. Вопросам использования полимерных композиций для указанных выше целей посвящены работы В.Я.Барашикова, В.М.Бондаренко, М.С.Золотова, В.Г.Микульского,

В.В.Патуроева, А.Л.Шагина, Л.Н.Шутенко [1, 2, 4-6, 10, 11] и др., однако работа таких конструкций еще недостаточно изучена.

Цель настоящей работы – экспериментально-теоретические исследования влияния толщины обоймы усиления из акрилового полимерраствора на несущую способность железобетонных изгибаемых элементов при кратковременном статическом нагружении.

Программой экспериментальных исследований предусмотрено испытание двух серий железобетонных балок сечением 70×120 мм и длиной 800 мм на изгиб двумя сосредоточенными силами. Экспериментальные балки армировали вязаными каркасами, которые состояли из растянутой рабочей арматуры 2Ø12A400С, коэффициент армирования  $\mu = 2,7\%$ , сжатой продольной арматуры 2Ø5A140С и хомутов диаметром 3 мм. Проектный класс бетона В25. Бетонные кубы, призмы и железобетонные балки были изготовлены из бетона одного замеса. Для определения простейших статистических характеристик, исходя из теории планирования эксперимента, минимальное количество опытных образцов для каждой серии должно быть не менее шести.

Определение физико-механических характеристик бетона выполняли по стандартной методике НИИЖБ [7]. Полученные прочностные и деформативные значения подтверждают, что бетон опытных образцов соответствует классу В25. Первая серия состояла из шести контрольных (без усилия) железобетонных балок, вторая серия – по шесть железобетонных балок, усиленных обоймой из акрилового полимерраствора толщиной соответственно 3, 6 и 9 мм.

Через три месяца после изготовления опытные балки были усилены модифицированным акриловым полимерраствором состава: 100 масс-частей полимера, 100 масс-частей мономера АСТ-Т; 150 масс-частей наполнителя – кварцевого песка с крупностью зерен до 0,16 мм, 6 масс-частей модификатора  $ZnO$ . Физико-механические характеристики указанного полимерраствора согласно [10] имеют следующие средние величины: прочность на сжатие 98,6 МПа, на растяжение 23,4 МПа, на изгиб 44,97 МПа, модуль упругости  $9,3 \cdot 10^3$  МПа, коэффициент Пуассона 0,265, при коэффициенте вариации не превышающем 6%. Для измерения сжимающих и растягивающих деформаций на поверхности бетона в середине пролета по периметру балки и на ее боковых поверхности под сосредоточенными силами были наклеены тензорезисторы типа ПКБ-50-400.

Затем, в соответствии со схемой усиления балок, наносили слой акрилового полимерраствора толщиной соответственно 3, 6 и 9 мм. После его полимеризации в тех же местах, что и на бетоне были на-

клеены тензорезисторы типа ПКБ-50-400 для измерения деформаций полимерраствора.

Регистрацию деформаций растяжения и сжатия бетона и усиливающего слоя осуществляли методом электротензометрии с помощью тензостанции ЦТМ-5 или SA-2 с точностью  $0,893 \cdot 10^{-5}$ . Прогобы и осадку опор измеряли с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм, а ширину раскрытия трещин микроскопом МПБ-2 с 24-кратным увеличением. Испытания опытных контрольных и усиленных акриловым полимерраствором балок кратковременным статическим нагружением проводили на прессе ГМС-20. Общий вид установки по испытанию железобетонной балки, усиленной обоймой из акрилового полимерраствора на изгиб, показан на рис.1.

Вначале были испытаны на изгиб кратковременной статической нагрузкой шесть контрольных железобетонных балок (без усиления), чтобы определить их несущую способность и установить величины ступеней загрузки усиленных балок. Затем были испытаны усиленные обоймой железобетонные балки.

Нагрузку на балки прикладывали одинаковыми ступенями (но не больше чем 0,075 от максимальной) вплоть до разрушения. На каждой ступени загрузки проводили выдержку в течение 10-15 мин. и за это время регистрировали все необходимые показания с измерительных приборов.

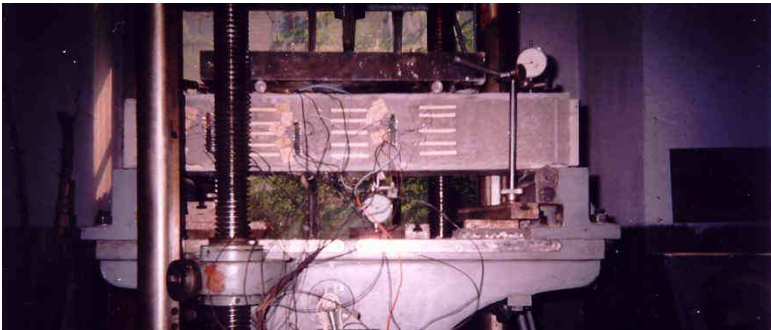


Рис.1 – Общий вид установки по испытанию железобетонной балки, усиленной обоймой из акрилового полимерраствора, на изгиб

Экспериментальные данные несущей способности контрольных и усиленных обоймой толщиной  $\delta_{m,ad} = 3, 6$  и  $9$  мм железобетонных балок приведены в табл.1. Значительное влияние на их несущую способность оказывают толщина усиливающего слоя (табл.1). Приведен-

ные в табл.1 данные статистической обработки показывают, что относительная погрешность результатов испытаний опытных величин несущей способности контрольных и усиленных балок (для каждой толщины усиливающего слоя акрилового полимерраствора), изменяется в пределах  $\pm 5,52 \dots 7,82\%$  при коэффициенте надежности  $\alpha = 0,95$ , а коэффициент вариации не превышает  $\pm 5\%$ .

Проведенные исследования показывают, что несущая способность железобетонных балок, усиленных обоймой из акрилового полимерраствора увеличивается в зависимости от ее толщины (табл.1).

Таблица 1 – Величины опытных разрушающих нагрузок (изгибающих моментов) железобетонных контрольных и усиленных обоймой балок при кратковременном статическом нагружении

Номера балок и основные статистические характеристики, средние из шести	Балки без усиления $\delta_{m,ad} = 0$ $2F_{раз}$ , кН (кНм)	Усиление обоймой 3, $\delta_{m,ad}$			
		3 мм	6 мм	9 мм	
1	58,0(5,22)	65,5(5,895)	82,3(7,407)	99,5(8,955)	
2	57,8(5,202)	68,5(6,165)	87,1(7,839)	104,2(9,378)	
3	59,2(5,328)	66,3(5,967)	83,5(7,515)	98,7(8,883)	
4	59,5(5,355)	65,8(5,922)	82,7(7,443)	97,9(8,811)	
5	57,5(5,175)	70,4(6,336)	87,5(7,875)	105,4(9,486)	
6	60,8(5,472)	68,5(6,165)	86,3(7,767)	102,1(9,189)	
Средняя величина $2F$ , кН (кНм)	58,8(5,29)	67,5(6,075)	84,9(7,641)	101,3(9,117)	
Среднеквадратичная $\bar{\chi}_{2F}(\bar{\chi}_M)$ , кН, (кНм)	$\pm 1,263$ ( $\pm 0,1137$ )	$\pm 1,936$ ( $\pm 0,1742$ )	$\pm 2,329$ ( $\pm 0,2096$ )	$\pm 3,08$ ( $\pm 0,2775$ )	
При надежности $\alpha=0,95$	абсолютная погрешность $\Delta_{2F}(\Delta_M)$ , кН, (кНм)	$\pm 3,247$ ( $\pm 0,2922$ )	$\pm 4,975$ ( $\pm 0,4478$ )	$\pm 5,985$ ( $\pm 0,5387$ )	$\pm 7,914$ ( $\pm 0,713$ )
	относительная погрешность $\varepsilon_{2F}(\varepsilon_M)$ , %	$\pm 5,52$ ( $\pm 5,528$ )	$\pm 7,371$ ( $\pm 7,371$ )	$\pm 7,05$ ( $\pm 7,05$ )	$\pm 7,813$ ( $\pm 7,822$ )
Коэффициент вариации, $\gamma_{2F}(\gamma_M)$ , %	$\pm 2,15$ ( $\pm 2,147$ )	$\pm 2,868$ ( $\pm 2,867$ )	$\pm 2,743$ ( $\pm 2,743$ )	$\pm 3,04$ ( $\pm 3,044$ )	

Анализ экспериментальных данных показывает, что максимальное увеличение несущей способности усиленных железобетонных балок достигается при толщине  $\delta_{m,ad} = 9$  мм. При этом нарушение сплошности бетона, усиленного слоем акрилового полимерраствора толщи-

ной 3, 6 и 9 мм, как и появление трещин в бетоне растянутой зоны отодвигается. Появление трещин в бетоне под покрытием устанавливали как по показаниям тензорезисторов, так и по изменению цвета акрилового полимерраствора.

Расчетные величины несущей способности контрольных железобетонных балок  $M_p$  и  $2F_p$  определяли по зависимостям приведенным в нормативных документах [8, 9]. Несущую способность железобетонных балок, усиленных облойкой из акрилового полимерраствора, определяли по зависимостям (1) и (4), для вывода которых были использованы предложения, изложенные в работах В.Я.Барашикова [1], В.М.Бондаренко и А.Л.Шагина [2] и др. Расчетная схема и усилия, действующие на изгибаемый, усиленный облойкой железобетонный элемент, приведены на рис.2.

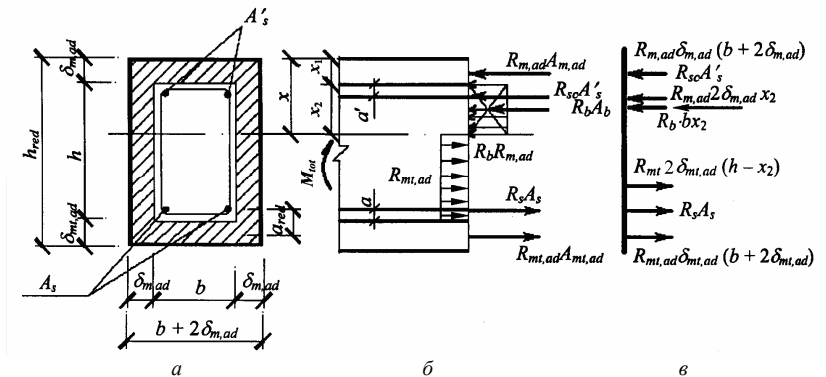


Рис.2 – Схема усиления (а), усилий и эпюры напряжений фактической (б) и приведенной (в) в сечении нормальном к продольной оси изгибаемого элемента, усиленного облойкой, при расчете его на прочность

При расчете использованы указания рекомендаций [8, 9], и положения, что внешняя сила действует в плоскости оси симметрии. Принято, что предельное состояние элемента наступает одновременно с достижением в растянутой арматуре и материале усиления растянутой зоны соответственно расчетных сопротивлений  $R_s$  и  $R_{mt}$  с учетом соответствующих коэффициентов условий работы.

Несущая способность, усиленного облойкой из акрилового полимерраствора, железобетонного изгибаемого элемента (рис.2), определяется по формуле

$$M_{tot} = K_{m,tot} R_{m,ad} A_{m,ad} (h_{red} - \delta_{m,ad} - a - 0,5\delta_{m,ad}) + R_{sc} A'_s (h - a - a') + \\ + R_b A_b (h - a - 0,5x_2) + K_{m,tot} R_{m,ad} 2\delta_{m,ad} \cdot x_2 (h - a - 0,5x_2) + \\ + K_{m,tot} R_{m,ad} 2\delta_{m,ad} (h - x_2) \left( \frac{h - x_2}{2} - a \right) + K_{m,tot} R_{m,ad} A_{m,ad} (a + 0,5\delta_{m,ad}), \quad (1)$$

где  $K_{m,tot}$  – коэффициент, полученный экспериментально и учитывающий совместную работу бетона и акрилового полимерраствора сжатой зоны, точность и однородность нанесения покрытия на бетонные поверхности, деформативность сжатых бетона и покрытия через соотношение модулей упругости  $E_b$  и  $E_m$ , класс бетона и другие факторы, изменяется  $0,51 \leq K_{m,tot} \leq 0,65$ ;  $K_{m,tot}$  – то же, но при растяжении  $E_b$  и  $E_m$  и изменяется  $0,3 \leq K_{m,tot} \leq 0,4$ ;  $R_b, R_{m,ad}, R_{sc}$  – прочность на сжатие соответственно бетона, акрилового полимерраствора и арматуры, МПа;  $R_{m,ad}, R_s$  – прочность на растяжение соответственно акрилового полимерраствора и рабочей арматуры, МПа;  $A_b, A_{m,ad}, A'_s$  – площадь сжатых соответственно бетона, акрилового полимерраствора, арматуры, мм<sup>2</sup>;  $A_{m,ad}, A_s$  – площадь растянутых соответственно акрилового полимерраствора и арматуры, мм<sup>2</sup>;  $\delta_{m,ad}, \delta_{m,ad}$  – толщина соответственно сжатого и растянутого слоя обоймы усиления, мм;  $a, a'$  – расстояние от нижней или верхней грани усиливаемого элемента до растянутой или сжатой арматуры, мм;  $h_{red}$  – высота усиленного элемента, мм;  $x_2$  – высота сжатой зоны бетона, мм;  $h$  – общая высота усиливаемого железобетонного элемента, мм.

Высота сжатой зоны бетона  $x_2$ , усиленного обоймой из акрилового полимерраствора, железобетонного изгибаемого элемента (рис.2) определяется из соотношения

$$K_{m,tot} R_{m,ad} \delta_{m,ad} (b + 2\delta_{m,ad}) + R_{sc} A'_s + R_b b x_2 + K_{m,tot} R_{m,ad} 2\delta_{m,ad} \cdot x_2 = \\ K_{m,tot} R_{m,ad} 2\delta_{m,ad} (h - x_2) + R_s A_s + K_{m,tot} R_{m,ad} \delta_{m,ad} (b + 2\delta_{m,ad}), \quad (2)$$

откуда

$$x_2 = \left[ K_{m,tot} R_{m,tot} 2\delta_{m,ad} h + K_{m,tot} R_{m,tot} \delta_{m,ad} (b + 2\delta_{m,ad}) + R_s A_s - R_{sc} A'_s - \right. \\ \left. - K_{m,tot} R_{m,ad} \delta_{m,ad} (b + 2\delta_{m,ad}) \right] / (R_b b + K_{m,tot} R_{m,ad} 2\delta_{m,ad} + K_{m,tot} R_{m,ad} 2\delta_{m,ad}). \quad (3)$$

Так как толщина обоймы постоянная, т. е.  $\delta_{m,ad} = \delta_{m,ad}$  и после

несложных преобразований зависимость (3) будет иметь вид

$$x_2 = \left\{ K_{m,tot} R_{m,tot} \delta_{m,ad} \left[ 2h + (b + 2\delta_{m,ad}) \right] + R_s A_s - R_{sc} A'_s - K_{m,tot} R_{m,tot} \delta_{m,ad} \times \right. \\ \left. \times (b + 2\delta_{m,ad}) \right\} / \left[ R_b b + 2\delta_{m,ad} (K_{m,tot} R_{m,ad} + K_{m,tot} R_{m,tot}) \right]. \quad (4)$$

Расчетные величины несущей способности железобетонных изгибаемых элементов, усиленных облоймой, определенные по формуле (1) для ее толщин  $\delta_{m,ad} = 3, 6$  и  $9$  мм, приведены в табл.2. Здесь же приведены опытные предельные величины изгибающих моментов  $M$  и усилий  $2F$  как средние из шести.

Таблица 2 – Сравнение средних опытных и расчетных изгибающих моментов и усилий

Схема усиления и толщина усиливающего слоя, $\delta_{m,ad}$ , мм		Средние из шести опытные предельные		Расчетные предельные		$\frac{M}{M_p}$
		изгибающий момент $M$ , кН·м	усилие, $2F$ , кН	изгибающий момент $M_p$ , кН·м	усилие, $2F_p$ , кН	
0	0	5,29	58,8	5,01	55,67	1,056
обойма	3	6,08	67,5	5,66	62,84	1,075
	6	7,64	84,9	7,29	81,0	1,048
	9	9,12	101,3	8,44	93,74	1,081

Из анализа табл.2 можно сделать вывод, что предложенные зависимости для определения несущей способности, усиленных акриловым полимерраствором, железобетонных элементов дают удовлетворительные результаты. Отклонение расчетных и опытных величин (табл.2) не превышает 10%.

Анализ данных табл.1, 2 показывает, что несущая способность железобетонных усиленных балок зависит от толщины облоймы и при  $\delta_{m,ad} = 9$  мм она увеличивается на 72,4% по сравнению с контрольными (без усиления) балками.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что нарушения сплошности бетона усиленных облоймой железобетонных балок отдалается, трещиностойкость увеличивается в среднем на 43-72% в зависимости от толщины усиливающего слоя. Появление волосных трещин в покрытии происходило при величинах изгибающего момента  $(0,85 \div 0,95) M_{max}$ .

Полученные экспериментальные и теоретические данные позволяют рекомендовать использование акриловых полимеррастворов для создания технологичного, относительно недорогого способа усиления

железобетонных изгибаемых элементов эксплуатируемых зданий и сооружений, что способствует значительному увеличению несущей способности, трещиностойкости, уменьшению деформативности, повышению стойкости против агрессивных воздействий. Несущую способность железобетонных элементов, усиленных облойкой из акрилового полимерраствора, предлагается определять по зависимостям (1)-(4) с учетом ее толщины.

1. Барашиков В.Я., Блалы Эль Мустафа. Расчет прочности железобетонных балок, усиленных эффективными материалами в растянутой зоне // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. Вип.10. – Рівне: УДУВ ГПК, 2003. – С.252-258.

2. Бондаренко В.М., Шагин А.Л. Расчет эффективных многокомпонентных конструкций. – М.: Стройиздат, 1987. – 175 с.

3. Гучкин И.С. Диагностика повреждений и восстановление качеств конструкций. – М.: АСВ, 2000. – 176 с.

4. Золотов М.С., Мельман В.А., Смолянинов М.Ю. Ремонт и восстановление несущей способности железобетонных изгибаемых элементов акриловыми полимеррастворами // Вестник БГТУ: Науч.-теор. журнал. Вип.5. Ч.1. – Белгород: БГТУ, 2003. – С.278-280.

5. Максимов Ю.В., Патуроев В.В. Рекомендации по ремонту и восстановлению железобетонных конструкций полимерными составами // НИИЖБ Госстроя СССР. – М., 1986. – 28 с.

6. Микульский В.Г., Козлов В.В. Модификация строительных материалов полимерами. – М.: МИСИ, 1986. – 43 с.

7. Рекомендации по определению прочностных и структурных характеристик бетонов при кратковременном и длительном нагружении. – М.: НИИЖБ, 1976. – 54 с.

8. СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: Госстрой СССР, 1989. – 80 с.

9. СНиП 2.09.03-85. Сооружения промышленных предприятий. – М.: Госстрой СССР, 1986. – 56 с.

10. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О., Золотов С.М. Использование акриловых клеев для реконструкции и ремонта зданий и сооружений // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. Вип.54. – К.:НДІБК, 2000. – С.810-814.

11. Шутенко Л.М., Золотов М.С., Смолянинов М.Ю. Використання акрилового полімеррозчину для підсилення та відновлення залізобетонних конструкцій // Науковий вісник будівництва. Вип.53. – Харків: ХДТУБА, 2005. – С.137-142.

*Получено 12.03.2008*

УДК 666.9 : 691.32

Т.В.РАПИНА

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ С ДОБАВКОЙ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННОЙ КВАРЦЕВОЙ СУСПЕНЗИИ**

Рассматриваются перспективы получения высокоэффективных строительных материалов с использованием ВКС. Была сделана попытка введения ВКС в тяжелые бето-