

Полученные значения основных технологических параметров заделки арматурных стержней периодического профиля в бетон акриловыми клеями позволяют определить интенсивность их установки, а также трудозатраты и трудоемкость анкероустановочных работ.

1. Золотов М.С., Зудов О.В. Технологические схемы закрепления в бетоне арматурных стержней периодического профиля // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 33. - К.: Техника, 2001. - С. 53-58.

2. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О. Кратковременная прочность анкеровки арматурных стержней модифицированными акриловыми клеями // Вісник Рівненського держ. техн. університету. Вип. 7. - Рівне, 2001. - С. 238 - 245

Получено 18.05.2002

УДК 624.012

М.С.ЗОЛОТОВ, профессор, М.Ю.СМОЛЯНИНОВ  
*Харьковская государственная академия городского хозяйства*

### **ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ УПРОЧНЕННЫХ АКРИЛОВЫМ КОМПОЗИТОМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЖЕНИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ЧАСТОТЫ**

Приведены методика и результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности центрально сжатых упрочненных поверхностным акриловым покрытием железобетонных элементов при многократно повторном нагружении с частотами 7; 4,2 и 0,1 гц и уровне напряжений  $(0,45-0,7)R_{\text{ср}}$ . Установлено влияние частоты на осительный предел выносливости.

Восстановление, усиление и повышение несущей способности строительных конструкций зданий и сооружений при их капитальном ремонте, модернизации или реконструкции, связанной с изменением действующих нагрузок, является сложным и трудоемким видом работ. В связи с этим возникла необходимость в разработке новых способов восстановления или увеличения несущей способности строительных конструкций с минимальными затратами труда, материалов и средств. Одним из перспективных и эффективных способов является применение акриловых полимеррастворов для восстановления и усиления строительных конструкций зданий и сооружений при различных видах нагружений [1, 2].

Отсутствие данных о влиянии упрочняющих акриловых поверхностных покрытий на прочность и деформативность центрально сжатых и изгибаемых железобетонных элементов, подверженных многократно повторным нагружениям различной частоты, не позволяет достоверно оценить их несущую способность [3].

Цель экспериментальных исследований – установление влияния толщины поверхностного акрилового покрытия железобетонных центрально сжатых элементов на их прочность, трещиностойкость и деформативность при действии многократно повторного нагружения с частотами 7; 4,2 и 0,1 гц и среднем коэффициенте асимметрии цикла  $p=0,15$ .

Исследования предела выносливости, деформативных свойств и трещиностойкости покрытых акриловым полимерраствором железобетонных элементов производили на образцах - призмах размером  $100 \times 100 \times 400$  мм.

Для изготовления образцов использовали два класса бетона В15 и В30. Крупным заполнителем бетона служил гранитный щебень фракцией 5-20 мм, мелким – песок безлюдовского карьера с модулем крупности 1,2. В качестве вяжущего использовали портландцемент активностью  $400 \text{ кг/см}^2$ .

Призмы армировали четырьмя продольными стержнями  $d8$  из арматуры класса А-III и двумя хомутами из арматуры класса А-I диаметром  $d = 3$  мм, которые располагались по их торцам. Конструкция образцов-призм приведена на рис.1. Для измерения деформаций арматуры, на каждый из продольных стержней каркаса, в средней их части, наклеивали по два тензорезистора ПКБ-20-200, которые изолировали акриловым клеем от попадания влаги (рис. 1).

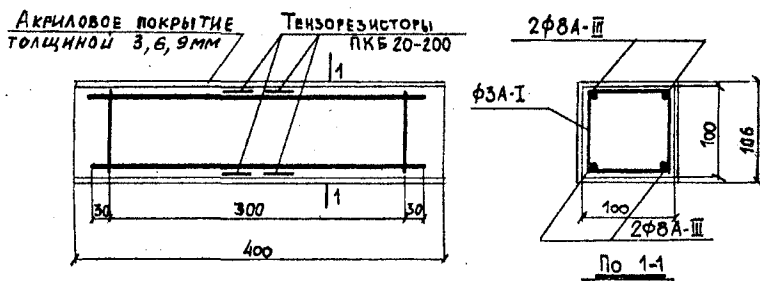


Рис. 1 – Размеры и схема армирования покрытий акриловым полимерраствором железобетонных призм

При подготовке к испытаниям все образцы-призмы подвергались прозвучиванию в продольном направлении с помощью ультразвукового прибора УКБ-1. Цель прозвучивания – определить величину модуля упругости бетона, а также произвести сортировку и отбраковку образцов-призм, исходя из определенной коррелятивной связи между скоростью распространения продольных ультразвуковых волн в теле бе-

тона и его физико-механическими характеристиками.

При одновременном испытании на выносливость трех образцов принимались призмы, у которых скорость распространения ультразвука в продольном направлении отличалась не более чем на  $\pm 5\%$  [4].

Для изменения продольных и поперечных деформаций бетона, на бетонные поверхности с четырех сторон в средней их части вдоль и поперек линии действия сжимающего усилия были наклеены тензорезисторы ПКБ-50-400. Затем на поверхности образцов наносили покрытие из акрилового полимерраствора состава 100:100:150 масс-ч (наполнитель – кварцевый песок крупность 0,14 мм) толщиной 3, 6 и 9 мм. Полимерраствор обладает высокими прочностными характеристиками, а именно: призмной прочностью на сжатие 75,72 МПа, на растяжение – 18,46 МПа с коэффициентами однородности соответственно 0,91 и 0,782, модулем упругости  $E_{03} = 7,29 \cdot 10^3$  МПа при коэффициенте вариации  $\pm 6,3\%$  и коэффициентом Пуассона  $\nu = 0,282$  при  $V_v = \pm 3,2\%$  [5].

После полимеризации полимерраствора в тех же местах, что и на бетоне, наклеивали тензорезисторы типа ПКБ-50-400 для измерения продольных и поперечных деформаций покрытия.

Измерения продольных и поперечных деформаций бетона и покрытия, а также деформаций арматуры в процессе испытаний как статических, так и динамических нагружений осуществлялось методом электротензометрии. Регистрация указанных величин осуществлялась с помощью тензометрической станции SA-2 в комплексе с многоточечным переключателем. Кроме того, контроль продольных деформаций покрытия производился с помощью съемного компаратора на базе 160 мм.

Определение прочностных и деформативных характеристик бетонных, армированных и железобетонных с акриловым покрытием образцов-призм производили по стандартной методике на гидравлическом прессе типа ПГ-100 кратковременной статической нагрузкой. Возраст бетона опытных образцов к моменту испытаний превысил 4,5 месяца. Испытания образцов без покрытия кратковременной статической нагрузкой показали, что средняя призмная прочность бетона классов В15 и В30 соответственно равна  $R_{ви} = 18,7$  МПа и  $R_{ви} = 36,5$  МПа. Образцы с поверхностным акриловым покрытием имели среднюю призмную прочность при классе бетонов В15 и В30 соответственно  $R_{t0t,u} = 22,2$  МПа и  $R_{t0t,u} = 41,2$  МПа.

Ультразвуковым методом определяли начало микротрещинообразования  $\sigma_{crc}$  опытных образцов призм без покрытия и с акриловым покрытием. Средняя величина  $\sigma_{crc}$  для образцов без покрытия изготавливались из бетона классов В15 и В30 составила соответственно  $0,48 R_{bu}$  и  $0,53 R_{bu}$ . Для образцов тех же классов бетона с акриловым покрытием при нагрузке  $(0,6-0,7) R_{bu}$  трещины в покрытии не были обнаружены, хотя в бетоне они появились значительно раньше, о чем свидетельствовали изменения амплитуды и скорости поперечных ультразвуковых волн. Кроме того, в местах возникновения продольных трещин в бетоне менялся цвет покрытия.

Сравнение результатов испытаний кратковременной статической нагрузкой опытных образцов-призм с покрытием и без него показали, что их прочность в среднем на 10-18% выше, чем у образцов без покрытия. Некоторое увеличение прочности и отдаление момента появления трещинообразования объясняется влиянием на указанные величины обоймы из акрилового полимерраствора, средняя прочность которого на растяжение  $R_{mt} = 18,46$  МПа при среднеквадратичном отклонении  $\pm 0,69$ . Необходимо отметить, что для бетона класса В15 соизмерима с  $R_{bu} = 18,78$  МПа, а для бетона класса В30 составляет  $0,506 R_{bu}$ . Кроме того, перед началом испытаний на выносливость были установлены величины напряжений: в ядре бетона  $\sigma_{b,r0t}$ , продольной арматуре  $\sigma_s$  и акриловом покрытии  $\sigma_m$ .

Экспериментальные исследования предела прочности и деформативности образцов при частоте многократно повторного нагружения  $\omega = 7$  гц и  $\omega = 4,2$  гц производили на гидравлическом прессе ЦДМ-Пу 100, а с  $\omega = 0,1$  гц - на гидравлическом прессе ГСМ-20.

Изменение деформаций в процессе эксперимента при  $\omega = 7$  гц и  $\omega = 4,2$  гц производили вначале через 50 тысяч циклов, а после 500 тысяч - через каждые 250 тыс. вплоть до разрушения опытных образцов - призм. Деформации бетона, арматуры и покрытия при  $\omega = 1$  гц многократно повторного нагружения фиксировали вначале через 1-2 тысячи, а в дальнейшем через 5-10 тысяч циклов. Режим загрузки образцов был следующий. Вначале образцы загружали статической нагрузкой с постоянной скоростью  $0,25-0,3$  МПа в секунду до принятой величины и снимали отсчеты по приборам. Затем с той же скоростью нагрузка повышалась до заданной величины  $\sigma_{cyc\ max}$ . После

снятия отсчетов по приборам включали пульсатор. Максимальные величины верхнего уровня напряжения для образцов из бетона классов В15 и В30 были приняты соответственно  $\sigma_{cyc\max} = (0,48 - 0,55)R_{cyc,tot}$  и  $\sigma_{cyc\max} = (0,53 - 0,7)R_{cyc,tot}$ . Коэффициент асимметрии цикла изменялся в пределах 0,15-0,2.

Разрушение центрально сжатого упрочненного акриловым покрытием армированного элемента при многократно повторном нагружении наступает, тогда, когда исчерпывается несущая способность бетона, охваченного хомутами, бетона защитного слоя, арматуры и акрилового покрытия.

Величина разрушающей нагрузки определяется по формуле

$$N_{tot,max} = K_y \left( \sigma_{b,cor} A_{cor} + \sigma_{b,rot} A_{rot} \right) + \sigma_s A_s + \sigma_m A_m, \quad (1)$$

где  $\sigma_{b,cor}, \sigma_{b,rot}, \sigma_s, \sigma_m$  — соответственно напряжения в ядре и защитном слое бетона, арматуре и покрытии в момент разрушения элемента;  $A_{b,cor}, A_{rot}, A_s, A_m$  — соответственно площади поперечных сечений: ядра, защитного слоя, арматуры и акрилового покрытия.

Раздельный учет несущей способности бетона защитного слоя и бетона ядра призмы обусловлен объемным напряженным состоянием, возникающим вследствие того, что арматурный каркас и акриловое покрытие препятствует поперечному расширению бетона. При известных величинах  $\sigma_{b,cor}, \sigma_{b,rot}, \sigma_s, \sigma_m$  из (1) получим выражение для определения относительного предела выносливости бетона  $K_y$  центрально сжатых, упрочненных акриловым покрытием, железобетонных элементов

$$K_y = \frac{N_{tot,max} - (\sigma_s A_s + \sigma_m A_m)}{\sigma_{b,cor} A_{cor} + \sigma_{b,rot} A_{rot}}. \quad (2)$$

Величину напряжений ядра бетона  $\sigma_{b,cor}$  определяли, используя условие прочности бетона при объемном напряженном состоянии [6].

Напряжения в арматуре к моменту разрушения, упрочненного акриловым полимерраствором элемента, принимали равным пределу текучести для мягкой стали, а для твердых сталей величина  $\sigma_s = \varepsilon_b E_s$ , где  $\varepsilon_b$  — полная деформация бетона, включая вибропользучесть [6].

Для определения величин  $\sigma_{b,cor}$ ,  $\sigma_{b,rot}$ ,  $\sigma_s$ ,  $\sigma_m$  были испытаны статической нагрузкой бетонные, армированные с акриловым покрытием и без него призмы.

По данным опытов при статическом нагружении образцов, вследствие предшествующего нарушения сцепления арматуры с бетоном, напряжения в продольной арматуре в момент их разрушения было значительно меньше предела текучести. На рис.2 приведены графики, показывающие характер развития деформаций бетона, арматуры и акрилового покрытия, из которого видно, что при нагрузке 360 кН произошло полное нарушение сцепления арматуры с бетоном. В таблице представлены опытные наибольшие величины деформаций арматуры  $\epsilon_{s,max}$ , акрилового покрытия  $\epsilon_{m,max}$ , полной разрушающей нагрузки и величина несущей способности бетона, полученная как разность между разрушающей нагрузкой и усилием в арматуре и покрытии

$$\left( \sigma_{b,cor} A_{cor} + \sigma_{b,rot} A_{rot} \right) = N_{tot,max} - \left( \sigma_s A_s + \sigma_m A_m \right). \quad (3)$$

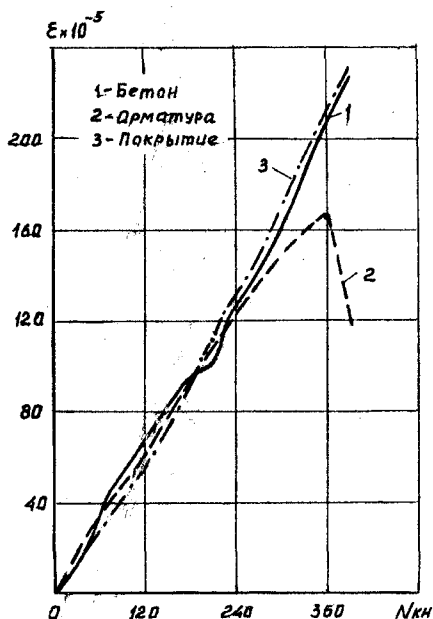


Рис. 2 — Характер развития деформаций бетона, арматуры и акрилового покрытия при статическом нагружении

Величины деформаций арматуры, акрилового покрытия, разрушающего усилия и несущей способности бетона опытных элементов

Номер образца	$N_{tot}$ кН	$\epsilon_s, \max$ $10^{-5}$	$\sigma_s$ МПа	$A_m \epsilon_s, \max$ кН	$\epsilon_m, \max$ $10^{-5}$	$\sigma_m$ МПа	$A_m \epsilon_m, \max$ кН	$(A_m \epsilon_s, \max + A_m \epsilon_m, \max)$ кН	$(\sigma_b, corr A_{cor} + \sigma_b, rest A_{ml})^{on}$ кН	$\frac{(\sigma_b, corr A_{cor} + \sigma_b, rest A_{ml})^{on}}{(\sigma_b, corr A_{cor} + \sigma_b, rest A_{tot})}$
4	367	129,4	258,8	51,7	188,9	13,87	17,0	68,7	298,3	0,98
10	427	165,7	331,4	66,3	241,8	17,6	21,8	88,1	338,9	1,11
17	390	151,0	302,0	60,4	220,3	16,1	19,9	80,3	309,7	1,017

Опытные значения несущей способности бетона, упрочненных акриловым полимерраствором призм, оказались близки к вычисленным величинам.

Если нарушение сцепления арматуры с бетоном наблюдается при стандартных испытаниях, то в условиях загрузки многократно повторной нагрузкой этот процесс должен протекать более интенсивно, так как при испытании опытных образцов циклической нагрузкой момент нарушения сцепления арматуры с бетоном зависит от уровня нагрузки, характеристики цикла, от несущей способности защитного слоя бетона, покрытия, от частоты повторного нагружения. Характер развития деформаций бетона, арматуры и акрилового покрытия при многократно повторном нагружении показан на рис.3, из которого следует, что момент нарушения сцепления арматуры с бетоном зависит от величины наибольшей нагрузки. Однако во всех элементах многократно испытанных повторной нагрузкой не наблюдались потери сцепления бетона и покрытия.

При многократном испытании повторной нагрузкой опытных образцов первые трещины в бетоне под покрытием возникали при небольшом числе циклов загрузки  $n \geq 50$  тысяч, в том числе и в местах расположения арматурных стержней. По мере роста числа циклов повторного нагружения вертикальные трещины наиболее интенсивно развивались в местах расположения арматуры, что свидетельствует о начале нарушения сцепления арматуры с бетоном (рис.3). Однако эти трещины в бетоне развивались под покрытием, о чем свидетельствовало изменение в этих местах его цвета. Момент нарушения сцепления арматуры с бетоном зависит от величины  $\sigma_{tot, \max}$ . Например, в образце 23 (кривые 2, рис. 3) в момент загрузки деформации бетона и покрытия были равны  $\epsilon_b = \epsilon_m = 121,7 \cdot 10^{-5}$ , а  $\epsilon_s = 116,1 \cdot 10^{-5}$ . При числе

циклов нагружения  $n=1000$  деформации бетона и покрытия достигали величины  $\varepsilon_b = \varepsilon_m = 135,7 \cdot 10^{-5}$ , а арматура  $\varepsilon_s = 91,6 \cdot 10^{-5}$ , что свидетельствует о нарушении сцепления арматуры и бетона.

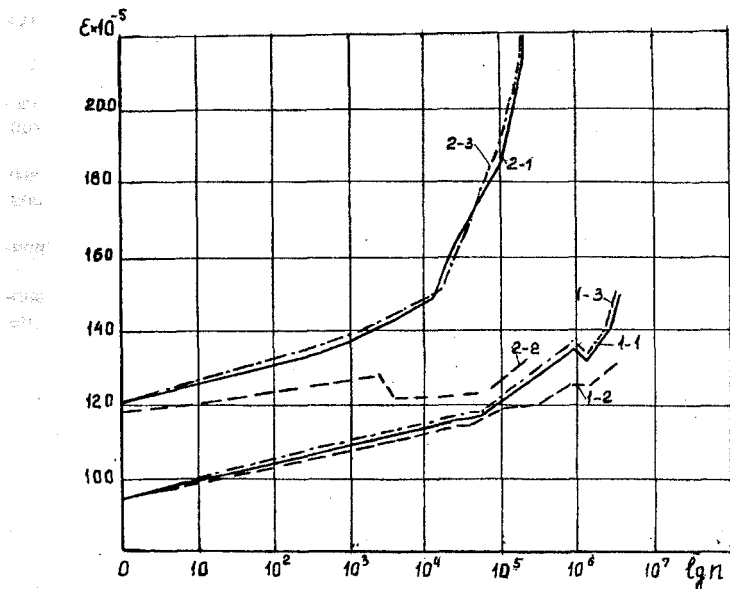


Рис. 3 — Характер развития деформаций бетона, арматуры и акрилового покрытия при многократно повторном нагружении с  $\omega=7$  гц:

1 — образец  $\sigma_{tot,max}=0,51R_{tot}$ ; 1-1 — бетон класса В30; 1-2 — арматура; 1-3 — акриловое покрытие; 2 — образец  $\sigma_{tot,max}=0,672R_{tot}$ ; 2-1 — бетон класса В3-; 2-2 — арматура; 2-3 — покрытие

Нарушение сцепления покрытия с бетоном не зафиксировано вплоть до разрушения опытного элемента в связи с высокими адгезионными и когезионными свойствами акрилового полимерраствора [5].

Вычисленные по формуле (2) величины  $K_y$  по данным кратковременных испытаний статической нагрузкой отличаются не более чем на  $\pm 10\%$  от опытных величин  $K_y$ , полученных при динамических испытаниях.

В результате исследований установлено, что при динамических нагружениях акриловое поверхностное покрытие увеличивает несущую способность железобетонных элементов на 10-20% и значительно отдалает момент появления трещин по сравнению с обычными арми-



рованными элементами. С уменьшением частоты понижается не только  $K_y$ , но и число циклов, необходимое для разрушения элемента при заданном уровне напряжений. Опыты показали, что для одного и того же значения  $K_y$  число циклов повторного нагружения отличается более чем на порядок при переходе от частоты 4,2 гц к частоте 0,1 гц.

1.Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О., Золотов С.М. Использование акриловых клеев для реконструкции и ремонта зданий и сооружений // Будівельні конструкції: 36. наук. праць. Вип. 54. - К.: НДБК, 2001. - С. 810-814.

2.Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении / Харьковский ПромстройНИИпроект. - М.: Стройиздат, 1990. - 176 с.

3.Соломатов В.И., Бобрышев А.Н., Химмлер К.Г. Полимерные материалы в строительстве / Под ред. В.И.Соломатова. - М.: Стройиздат, 1988. - 312 с.

4.Золотов М.С., Смолянинов М.Ю. Выносливость центрально сжатых упрочненных акриловым полимерраствором железобетонных элементов при динамических нагрузках различной частоты // Тезисы докладов XXXI научно-техн. конф. препод., сотр. и аспирантов Харьковского государственной академии городского хозяйства. - Харьков: ХГАГХ, 2002. - С. 57-58.

5.Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Гарбуз А.О. Ресурсосберегающий модифицированный акриловый клей с повышенной адгезионной прочностью и термостойкостью // Вісник Рівненського держ. техн. ун-ту. Вип. 3. - Рівне, 1999. - С. 57-63.

6.Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. - М.: Госстройиздат, 1962. - 96 с.

Получено 17.05.2002

УДК 69.059.25

З.Р.БОЛКВАДЗЕ

Строительная фирма "Стройагросервис", г.Харьков

### **ВЛИЯНИЕ УСАДОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ АКРИЛОВЫХ ПОЛИМЕРРАСТВОРОВ НА ТЕХНОЛОГИЮ УСТРОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ПОЛОВ**

Приведены результаты экспериментальных исследований усадочных деформаций и напряжений акриловых полимеррастворов. Определены размеры карт с учетом усадочных и адгезионных напряжений. Описаны основные технологические операции при устройстве бесшовных полов.

Устройство покрытий полов из акриловых полимеррастворов является одним из наиболее прогрессивных и перспективных направлений при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте зданий и сооружений. Использование для покрытий полов акриловых композиций позволяет снизить сроки строительства, ремонта и реконструкции зданий, уменьшить материало- и трудоемкость работ. Эти композиции дешевле эпоксидных и других полимерных покрытий, используемых в