

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С РАЗРУШЕННЫМ БЕТОНОМ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ РАСТЯНУТОЙ ЗОНЫ И КОРРОЗИЕЙ АРМАТУРЫ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУХИХ СМЕСЕЙ “ЭМАКО”

© 2008 А.А. Прокопович, С.А. Галунин

Самарский государственный университет путей сообщения

В статье представлены результаты экспериментальных исследований работы железобетонных балок, с различной степенью коррозии продольной растянутой арматуры и разрушением бетона защитного слоя растянутой зоны, после их восстановления. Приведен анализ влияния характера повреждения железобетонных балок на их работу и возможность восстановления, а также влияния восстановления бетона защитного слоя на прочность, трещиностойкость и жесткость. Даны результаты исследования совместности работы бетона восстановленных балок с ремонтными смесями, и рекомендации по восстановлению изгибаемых железобетонных конструкций с помощью сухих смесей “ЭМАКО”.

Одним из наиболее распространенных повреждений железобетонных конструкций является разрушение бетона защитного слоя в результате коррозии арматуры. При этом происходит потеря сцепления арматуры с бетоном. Результаты многочисленных натурных обследований эксплуатируемых железобетонных конструкций показывают, что примерно до 35% обнаруженных поврежденных конструкций имеют нарушенное сцепление арматуры с бетоном [1]. В большей степени такой вид повреждения характерен для изгибаемых железобетонных элементов – плит, ригелей, балок. Такие повреждения приводят к снижению несущей способности железобетонных конструкций, их жесткости и трещиностойкости [2]. Обеспечение работоспособности поврежденных таким образом железобетонных конструкций может осуществляться двумя способами: восстановлением или усилением.

Применяемые в настоящее время способы восстановления несущей способности и усиления железобетонных конструкций отличаются большим разнообразием в зависимости от типа конструкции, характера и степени повреждений и причин их возникновения. Для восстановления железобетонных конструкций без изменения их расчетной схемы и напряженного состояния, в последнее время начали широко применяться сухие бетонные смеси. При этом для выполнения качественного и надежного восстановления конструк-

ций, используемые смеси при затворении водой должны образовывать пластичный текучий нерасслаиваемый раствор, обладающий целым рядом свойств: высокой прочностью на сжатие и растяжение; высокой скоростью набора прочности; отсутствием усадки; высокой степенью сцепления со старым бетоном и арматурой; высокой морозостойкостью и водонепроницаемостью; хорошей удобоукладываемостью при малом водоцементном отношении. Перечисленными выше свойствами обладают сухие смеси серии “ЭМАКО”, выпускаемые ЗАО “Ирмаст-Холдинг” по лицензии итальянской фирмы “МАС”, используемые для восстановления любых железобетонных конструкций и сооружений гражданского и промышленного назначения [3, 4].

Опыт применения сухих смесей серии “ЭМАКО” в практике восстановления конструкций и сооружений довольно велик [5, 6], но, несмотря на это, специальных исследований работы восстановленных железобетонных конструкций, как экспериментальных, так и теоретических, практически нет. В связи с этим весьма актуальным становится проведение исследований в этой области.

Для разработки инженерных методов расчета и оценки работоспособности изгибаемых железобетонных конструкций, имеющих повреждения и восстановленных при помощи сухих смесей “ЭМАКО”, на кафед-

ре “Строительные конструкции и материалы” СамГУПС были проведены экспериментальные исследования специальных опытных образцов в виде железобетонных балок прямоугольного сечения.

Было изготовлено пять опытных образцов, один из которых являлся эталонным (БЭ) и не имел повреждений, а в остальных образцах имитировалось разрушение бетона защитного слоя растянутой зоны и различная степень коррозии продольной растянутой арматуры. Затем образцы восстанавливались с помощью сухой смеси до первоначального состояния без увеличения рабочего сечения. Размеры всех балок ($b=120$ мм, $h=220$ мм, $l=2000$ мм) и их армирование были приняты одинаковыми. В качестве основной рабочей арматуры принята арматура класса А-III, для хомутов использована проволока класса Вр-I.

Процент армирования балок составлял 2,6% и являлся для них граничным ($\xi \approx \xi_R$). Поперечное армирование подбиралось таким образом, чтобы опытные образцы были равнопрочными по нормальным и наклонным сечениям.

Конструкция опытных образцов приведена на рис. 1, 2.

Бетон для опытных образцов был принят класса В20, как наиболее характерный для большинства эксплуатируемых в настоящее время изгибаемых железобетонных конструкций.

Было предусмотрено изучение работы восстановленных опытных образцов имев-

ших повреждения в виде полного разрушения бетона защитного слоя растянутой зоны с оголением и коррозией продольной растянутой арматуры на 36% (БР-1, БР-1т) и 64% (БР-2, БР-2т) и полной коррозией участков хомутов попавших в растянутую зону.

Перечисленные выше повреждения создавались на стадии изготовления опытных образцов. С помощью пенопласта, до заливки бетона в опалубку, имитировалось разрушение бетона защитного слоя растянутой зоны с оголением арматуры (рис. 2). Коррозия продольной растянутой арматуры на 36% имитировалась заменой 2Ж20 А-III рабочей арматуры на 2Ж16 А-III. Коррозия продольной растянутой арматуры на 64% имитировалась заменой 2Ж20 А-III рабочей арматуры на 2Ж12 А-III. Полная коррозия участков хомутов попавших в растянутую зону с разрушенным защитным слоем создавалась заменой замкнутых хомутов на П-образные.

Кроме того, в образцах БР-1т и БР-2т в пролете среза, в процессе изготовления, были образованы по две искусственных наклонных трещины с каждой стороны (рис. 2 а).

Армирование опытных образцов, в которых имитировалась коррозия продольной растянутой арматуры, восстанавливалось до первоначального путем добавления в растянутую зону 2Ж12 А-III при коррозии 36% и 2Ж16 А-III при коррозии 64%. При этом добавленные арматурные стержни не заводились за грань опоры.

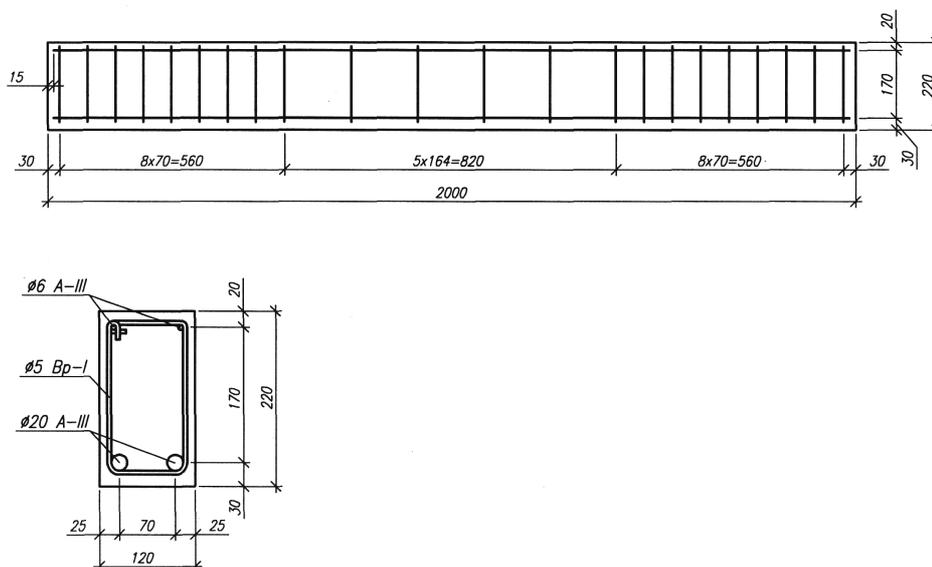
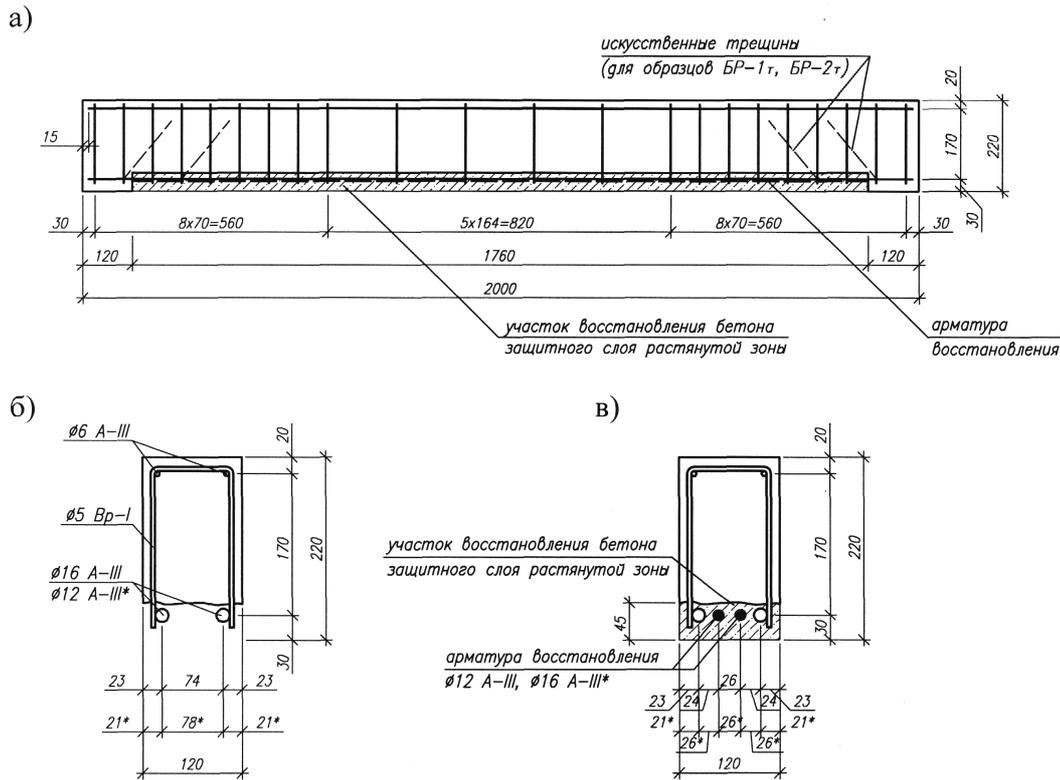


Рис. 1. Конструкция эталонного опытного образца



Примечание: * - для образцов БР-2, БР-2т

Рис. 2. Конструкция опытных образцов с повреждениями

а – продольный разрез образца после восстановления; б – поперечное сечение образца до восстановления; в – поперечное сечение образца после восстановления

После набора бетоном прочности, опытные образцы, имеющие повреждения, были восстановлены ремонтной смесью ЭМАКО S55 наливного типа. Приготовление ремонтной смеси, и восстановление образцов производилось в соответствии с рекомендациями производителей [7].

Опытные образцы испытывались как однопролетные балки распределенными силами в третях пролета.

Установка для испытания образцов показана на рис. 3.

Для измерения деформаций бетона сжатой зоны в сечении, расположенном в середине пролета, на верхнюю грань каждого образца наклеивались два тензорезистора, а на боковые грани по высоте сечения наклеивались четыре тензорезистора с каждой стороны с интервалом 25 мм. Деформации арматуры в этом же сечении измерялись тензорезисторами с базой 20 мм. В зоне действия поперечных сил на уровне центра тяжести приведенного сечения наклеивались по три тензорезистора в виде розетки. Для измере-

ний деформаций бетона использовались тензорезисторы с базой 50 мм. Для регистрации показаний тензорезисторов использовался автоматический электронный измеритель деформаций АИД-4 в блоке с магазинами сопротивлений Р33 [8].

Прогибы образцов в середине пролета и в сечениях под силами, а также осадки опор измерялись прогибомерами ПАО-6.

Загружение образцов производилось ступенями. Для стадии, близкой к моменту трещинообразования, нагрузку увеличивали ступенями, не превышающими 5% от разрушающей. Далее, вплоть до разрушения образца, не более 10%. Выдержка на каждой ступени составляла 10 минут, при этом показания с приборов снимались в начале и в конце ступени.

Нагрузка создавалась вручную с помощью гаек через опорные подшипники и распределялась через систему траверс. Величины приложенных сил контролировались по показаниям образцового динамометра типа ДОСМ-50 системы Н.Г. Токаря.

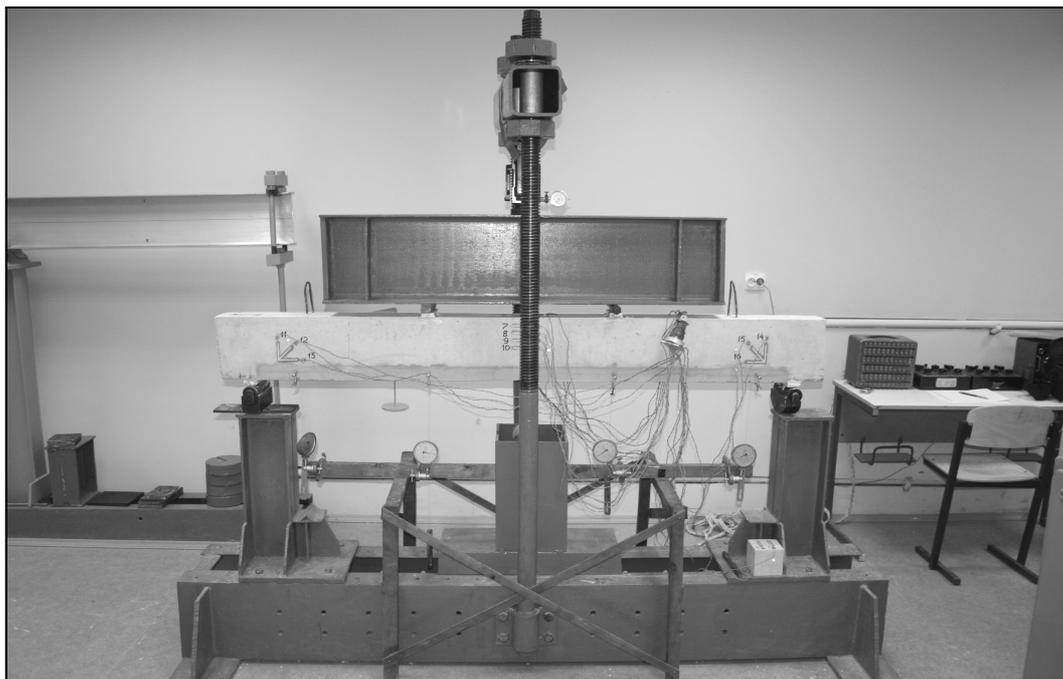


Рис. 3. Установка для испытания опытных образцов

При испытаниях на каждой ступени фиксировалось визуально (с использованием ацетона) появление и развитие трещин. Ширина их раскрытия измерялась при помощи микроскопа МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм.

Перед испытанием опытных образцов были определены прочностные и деформативные характеристики арматура, а также прочностные характеристики исходного бетона и ремонтной смеси.

Разрушение эталонного образца (БЭ) носило хрупкий характер и произошло вследствие раздавливания бетона сжатой зоны при нагрузке 112 кН. Высота сжатой зоны бетона составила 10,5 см, при этом напряжения в арматуре не достигли предела текучести, и составляли 340 мПа, то есть почти достигали расчетного сопротивления на растяжение. Нормальные трещины образовались при нагрузке $0,16 P_{разр}$, а ширина их раскрытия при этом составила 0,05 мм. С ростом нагрузки трещины развивались по высоте, при этом интенсивное их развитие наблюдалось вплоть до приложения нагрузки $0,74 P_{разр}$, затем их рост практически остановился. Расстояние между нормальными трещинами к моменту разрушения образца составляло 5...8 см. Наклонные трещины образовывались при нагрузке $0,5 P_{разр}$ и развивались под углом $\approx 45^\circ$ к оси продольной арматуры. Ширина раскрытия при этом составляла 0,05 мм. В

тоже время ширина раскрытия нормальных трещин при этой же нагрузке составляла 0,1...0,15 мм. Всего в образце образовывалось 8 наклонных трещин (рис. 4 а).

Разрушение восстановленных образцов происходило при нагрузках 117 кН (БР-1), 110 кН (БР-1т), 96 кН (БР-2) и 99 кН (БР-2т), вследствие потери сцепления растянутой арматуры с ремонтным составом, включая арматуру восстановления, чему способствовало образование наклонных трещин в бетоне (рис. 4). При этом характерным было образование трещин (при нагрузке $0,8...0,95 P_{разр}$) в ремонтной смеси вдоль арматуры в пролете среза. По мере увеличения нагрузки продольные трещины объединялись в одну магистральную, шириной раскрытия до 0,5...0,8 мм, обуславливая проскальзывание арматуры восстановления в защитном слое. Кроме того, в восстановленных образцах, не имеющих искусственных наклонных трещин (БР-1, БР-2), одновременно с выключением арматуры из работы происходило отслоение лещадок бетона сжатой зоны в месте приложения нагрузки.

В восстановленных образцах по мере возрастания нагрузки образовывались горизонтальные трещины между бетоном и ремонтным составом, вследствие нарушения сцепления между ними (рис. 4). Начальная ширина раскрытия достигала 0,05 мм, длина 6...10 см,

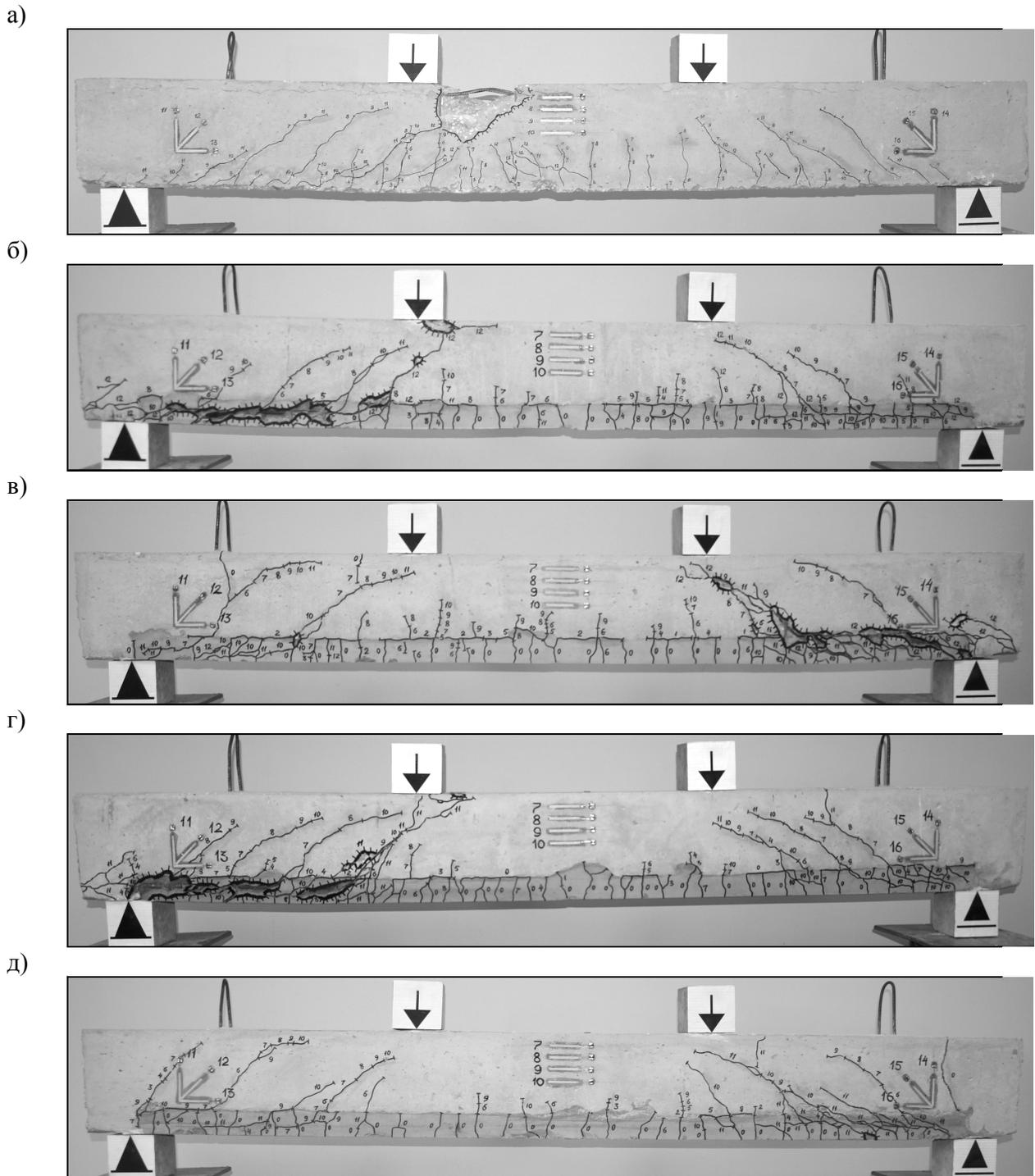


Рис. 4. Вид опытных образцов после испытаний

а – образец БЭ; б – образец БР-1; в – образец БР-1т; г – образец БР-2; д – образец БР-2т

в дальнейшем трещины объединялись. Наиболее значительные по длине трещины (2/3 от длины поверхности контакта бетона и ремонтного состава) образовались в образцах БР-1, БР-1т и БР-2. Причем в образце БР-2 трещины появились до приложения нагрузки. В образце БР-2т такие трещины начали проявляться на последних ступенях загрузки. Ширина раскрытия продольных трещин по контакту

бетона и ремонтного состава перед разрушением для образцов с коррозией растянутой арматуры на 36% составляла 0,5...1 мм, а для образцов с коррозией растянутой арматуры на 64% – 0,3...0,35 мм.

В восстановленном защитном слое поврежденных образцов были отмечены начальные усадочные трещины (рис. 4). Ширина раскрытия этих трещин перед началом за-

ружения составляла 0,05 мм, шаг 4...7 см. До нагрузки 0,5...0,75 в ремонтном составе возникали новые нормальные трещины, деля участки между начальными усадочными трещинами надвое, таким образом, что среднее расстояние между трещинами к моменту разрушения составило 4 см.

Нормальные трещины в бетоне восстановленных образцов образовались как продолжение некоторых усадочных трещин в средней части пролета при нагрузке 0,2...0,3, шириной раскрытия 0,05 мм. При нагрузке близкой к разрушающей в образцах с коррозией растянутой арматуры 36% было 9 нормальных трещин, а в образцах с коррозией растянутой арматуры 64% – 5 нормальных трещин (рис. 4). Шаг этих трещин был не постоянным, и расстояние между ними составляло от 5 до 15 см. Наклонные трещины во всех образцах образовывались при нагрузке 0,25...0,5 и развивались под углом 45° к оси продольной арматуры, с уменьшением угла по мере увеличения нагрузки, ширина раскрытия при этом составляла 0,05...0,1 мм. В тоже время ширина раскрытия нормальных трещин уже составляла 0,05...0,2 мм, далее они не раскрывались и удлинялись незначительно. В образцах имеющих искусственные наклонные трещины их проявление на поверхности и начало развития происходило при нагрузке 0,18...0,25. В каждом образце образовывалось от 4 до 10 наклонных трещин (рис. 4).

На стадии близкой к разрушению ширина раскрытия нормальных трещин в бетоне восстановленных образцов на уровне контакта бетона и ремонтного состава составляла 0,05...0,1 мм, ширина раскрытия наклонных трещин составляла 0,7...1 мм. Ширина раскрытия нормальных трещин в ремонтном составе достигла 0,35 мм.

На рис. 5. представлен график зависимости прогибов опытных образцов от нагрузки.

Полученные в результате экспериментальных исследований распределения продольных деформаций по высоте сечений опытных образцов представлены на рис. 6.

По результатам проведенного эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Незначительный разброс прочности опытных образцов свидетельствует о полном восстановлении прочностных свойств образцов с коррозией растянутой арматуры на 36% и о частичном (на 85%) восстановлении образцов с коррозией растянутой арматуры на 64%, что характеризует возможность смесей ЭМАКО S55 достаточно эффективно восстанавливать железобетонные конструкции. Искусственные наклонные трещины на прочность опытных образцов ощутимого влияния не оказывают.

2. Трещиностойкость всех восстановленных образцов соответствует трещиностойкости эталонного образца, за исключением образцов с коррозией продольной растянутой арматуры.

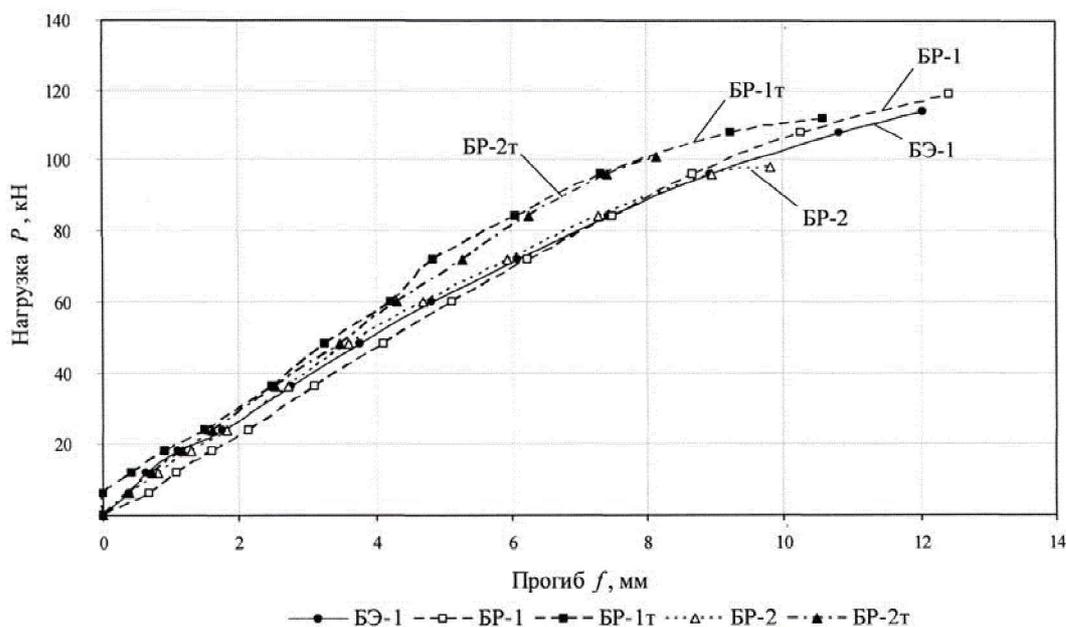


Рис. 5. График прогибов опытных образцов

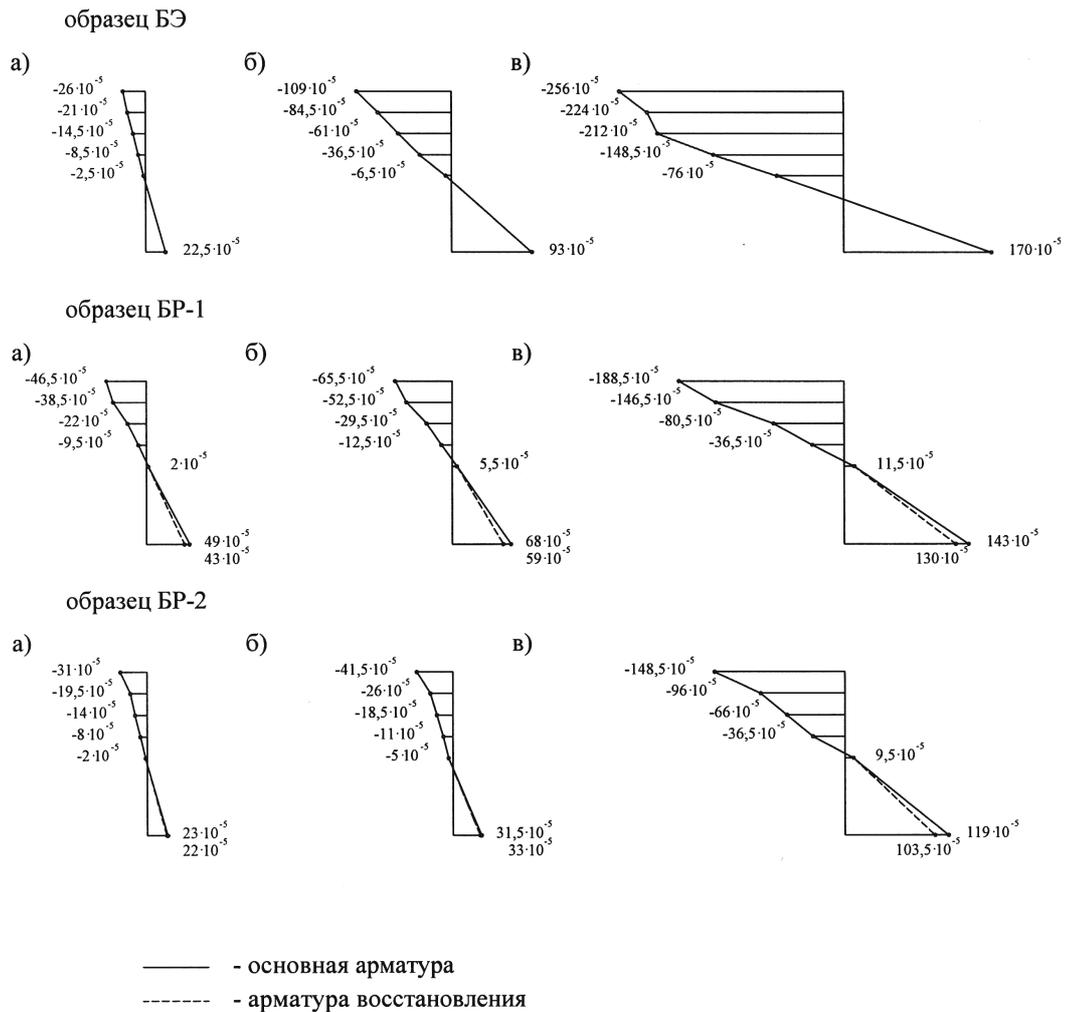


Рис. 6. Распределение деформаций по высоте сечения образцов на различных этапах нагружения: а – образование нормальных трещин в бетоне; б – образование наклонных трещин; в – разрушение образца

туры на 64%, в которых образование наклонных трещин происходило более интенсивно.

3. Процесс разрушения всех восстановленных образцов можно характеризовать как разрушение по наклонной трещине в бетоне от действия изгибающих моментов, вследствие потери сцепления продольной растянутой арматуры с ремонтным составом в пролете среза.

4. Добавленная арматура в восстановленных образцах на протяжении всего испытания работает практически совместно с основной арматурой вплоть до разрушения.

5. При разработке методики расчета восстановленных изгибаемых конструкций, с разрушением бетона защитного слоя растянутой зоны и коррозией арматуры, особое внимание следует обратить на анализ работы таких конструкций в наклонных сечениях при действии изгибающих моментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокопович А.А., Казанков А.П., Пржездецкий Б.В. Основы эксплуатации железобетонных конструкций промышленных зданий. Куйбышев: Куйбышевск. госуд. ун-т, 1983.
2. Прокопович А.А. Сопротивление изгибу железобетонных конструкций с различными условиями сцепления продольной арматуры с бетоном. Самара: НВФ “Сенсоры. Модули. Системы”, 2000.
3. Затворницкая Т.А., Магитон А.С. Материалы “ЕМАСО” для ремонта бетонных и железобетонных конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2000. №10.
4. Козлов Г.Н. Сухие смеси “ЭМАКО” для ремонта несущих конструкций. Матери-

- алы конференции “Бетон на рубеже третьего тысячелетия”. М., 2001.
5. Козлов Г.Н., Репекто В.В. Новые материалы для усиления, ремонта и защиты бетонных конструкций // Технологии, материалы, конструкции в строительстве. 2002. №2.
 6. Козлов Л.Н. Опыт применения бетонов “ЭМАКО” для восстановления и защиты бетона и железобетона. Бетон и железобетон – пути развития // Научные труды 2-ой Всероссийской конференции по бетону и железобетону. Т. 4. М.: Дипак, 2005.
 7. Руководство по восстановлению бетонных конструкций. МАС s.p.a., 2002.
 8. Дolidзе Д.Е. Испытание конструкций и сооружений. М.: Высш. школа, 1975.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF WORK OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH THE DESTROYED CONCRETE OF A BLANKET OF THE STRETCHED ZONE AND CORROSION OF ARMATURE, AFTER THEIR RESTORATION WITH USE OF DRY MIXES “EMACO”

© 2008 A.A.Prokopovich, S.A.Galunin

Samara State Railway University

In article are submitted results of experimental researches of work of reinforced concrete beams, with a various degree of corrosion of the longitudinal stretched armature and destruction of concrete of a blanket of the stretched zone, after their restoration. It is given the analysis of influence of character of damage of reinforced concrete beams for their work and an opportunity of restoration, and also influence the restoration of concrete of a blanket on durability, crack- resistance and rigidity. It is given results of research the jointness work of concrete of restored beams with repair mixes, and recommendations for restoration of bent reinforced concrete designs with the help of dry mixes “EMACO”.