
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.07

Г.А. Смоляго, д-р техн. наук, профессор, БГТУ им. В.Г. Шухова (Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46) (e-mail: tpk-psv@yandex.ru)

Н.В. Фролов, аспирант, БГТУ им. В.Г. Шухова (Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46) (e-mail: frolov_pgs@mail.ru)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕМЫЧЕК НАРУЖНЫХ НЕСУЩИХ СТЕН ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

До сих пор в строительных нормативных документах отсутствует методика оценки остаточного ресурса железобетонных конструкций. Объясняется это тем, что разработанные методики не позволяют в полной мере комплексно учитывать многие факторы, связанные с длительной эксплуатацией конструктивных элементов: происходит изменение нагрузок как по величине, так и по режиму и направленности действия, возможны не предусмотренные проектом технологические воздействия, проявляются и накапливаются коррозионные повреждения, изменяются первоначальные деформативно-прочностные свойства бетона и арматуры. При решении данной проблемы отмечается важность результатов натурных обследований и испытаний конструкций, работа которых под нагрузкой осуществлялась в условиях реальной окружающей среды. Разработка, апробация и включение в нормативные документы комплексных инженерных методов прогнозирования и методик расчетной оценки остаточного ресурса железобетонных конструкций является актуальной научной задачей, стоящей перед исследователями в области строительства. Создание современной практической методики позволит повысить конструктивную безопасность при длительной эксплуатации объектов инфраструктуры, и даст возможность более эффективно управлять капиталовложениями на рынке недвижимости. В данной статье представлены обобщенные результаты экспериментальных исследований сборных железобетонных перемычек наружных несущих стен общественного здания. Описан характер деформирования образцов вплоть до разрушения при контрольных испытаниях на статический изгиб. Приведены обнаруженные дефекты изготовления и накопленные за время эксплуатации коррозионные повреждения материалов, указана степень их влияния на работу конструкций. Отмечено, что при производстве железобетонных конструкций необходимо повышать уровень контроля качества изготовления арматурных каркасов и обеспечивать их проектное положение при бетонировании.

Ключевые слова: железобетонная перемычка; экспериментальное исследование; остаточный ресурс; испытание на изгиб; разрушение.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-47-57

Ссылка для цитирования: Смоляго Г.А., Фролов Н.В. Экспериментальные исследования конструкций сборных железобетонных перемычек наружных несущих стен общественного здания // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 47-57.

Введение

На сегодняшний день в практике строительства отсутствует единый стандартный подход к оценке остаточного ресурса железобетонных конструкций. Разработанные до этого методики при расчетах приводят к многофакторной неопределенности, поскольку не позволяют в

полном мере совместно учесть свойства материалов, особенности и дефекты конструкций, их напряженно-деформированное состояние, а также воздействие окружающей среды [1-3].

При длительной эксплуатации происходит изменение нагрузок как по величине, так и по режиму и направленности действия, возможны не предусмотренные

проектом технологические воздействия, проявляются и накапливаются коррозионные повреждения, изменяются первоначальные свойства бетона и арматуры. Кроме того, в отдельных случаях силовые и коррозионные повреждения связей и соединений проводят к изменению расчетно-статических схем сооружений [4].

Разработка, апробация и включение в нормативные документы комплексных инженерных методов прогнозирования и методик расчетной оценки остаточного ресурса железобетонных конструкций является актуальной научной задачей, стоящей перед исследователями в области строительства, поскольку значительная часть зданий и сооружений из железобетона возведена еще 60-80 лет назад и находится в изношенном состоянии. Как справедливо отмечено в работах [5, 6], создание современной практической методики позволит повысить конструктивную безопасность при длительной эксплуатации объектов инфраструктуры, и даст возможность более эффективно управлять капиталовложениями на рынке недвижимости.

По мнению авторов, в научных исследованиях по разработке методики расчета остаточного ресурса определяющую роль должны играть результаты натурных обследований и испытаний конструкций, работа которых под нагрузкой осуществляется в реальных условиях внешней и внутренней среды. В связи с этим, в программу диссертационных исследований [2], были включены контрольные испытания нагружением до разрушения нескольких серий изгибаемых элементов, полученных в ходе ликвидаций зданий различного функционального назначения Белгородской области. В частности, в данной статье приводятся сводный отчет по экспериментальным

исследованиям конструкций железобетонных перемычек общественного здания.

Основная часть

Исследуемые железобетонные перемычки являлись сборными конструктивными элементами наружных несущих стен 4-этажного здания родильного дома, расположенного в Восточном административном округе города Белгород по ул. Некрасова, д. 28. По архивным записям выявлено, что на постоянной основе в качестве медицинского учреждения здание использовалось с 1984 г., а до этого как общественное. Период возведения относится к 60-м годам XX века.

По степени воздействия на конструкции среда помещений рассматриваемого здания определена как неагрессивная с нормальной относительной влажностью воздуха.

Конструктивная система здания – стеновая, с продольными и поперечными несущими стенами из кирпича. Перекрытия были выполнены из сборных многопустотных железобетонных плит.

Решение о сносе здания и возведении на его месте многоквартирного жилого дома было принято в 2015 г. Демонтаж конструкций производился в 2015-2016 гг. в щадящем режиме, ввиду развитой вокруг жилой застройки. Поэтому, после демонтажа все перемычки имели хорошую целостность.

По маркировочным надписям на торцовых поверхностях перемычек установлено, что они были изготовлены в 1966 г. по ГОСТ 948-58 типа БУ (несущие нагрузку от собственного веса, от кладки над ними, от междуэтажных перекрытий и других элементов здания). Таким образом, на момент испытаний возраст железобетонных перемычек составил 52 года.

Общее количество образцов перемычек, отобранных для исследований, составило 7 штук (рис 1, а), поделенных в зависимости от длины 1 на 3 серии: 1-я серия – 3 образца длиною 1800 мм; 2-я серия – 3 образца длиною 1600 мм; 3-я серия – 1 образец длиною 1400 мм. Проектные размеры поперечных сечений всех образцов 120x220 мм (b×h). Проектная прочность бетона на сжатие соответствует классу В12,5.

В процессе подготовки к испытаниям поверхности перемычек были очищены, осмотрены, а затем покрыты известковым раствором для лучшей визуализации раскрытия и развития трещин; замерены фактические размеры поперечных сечений образцов; с помощью склерометра «ОНИКС-2.3» неразрушающим методом определена фактическая прочность бетона на сжатие и его соответствующий класс. Стоит отметить, разброс значений поверхностной прочности находился в узком диапазоне измерений (\pm ступень класса), что свидетельствует об однородности бетонной матрицы конструкций.

Внешний визуальный и инструментальный осмотр очищенных от слоев штукатурки, пыли и грязи образцов позволил зафиксировать: искривление поверхностей и ребер до 5 мм на всю длину перемычек; местные наплывы и неровности бетона высотой до 10 мм; сколы ребер шириной до 15 мм, длиной до 40 мм; раковины диаметром до 10 мм и глубиной до 5 мм в количестве не более 3 шт. на 1 пог. м. Остаточный прогиб у всех перемычек составил до 1,0 мм. Остаточные трещины в середине пролета не обнаружены либо находились в закрытом состоянии.

Армирование перемычек произведено плоскими сварными каркасами, изготовленными из горячекатаной стали по ГОСТ 5781-61. Продольная растянутая

арматура класса АIII (А400). Продольная сжатая и поперечная арматура класса AI (А240). Шаг поперечных стержней в средних четвертях пролета 200 мм, в крайних 100 мм.

Данные по принятой маркировке образцов и подробная информация об армировании и размерах сечений приведены в таблице 1.

Для получения наибольшего объема информации железобетонные перемычки были испытаны кратковременной нагрузкой на статический изгиб вплоть до разрушения в соответствии с основными положениями ГОСТ 8829. Хотя в последнее время находят применение и другие методы испытаний изгибаляемых элементов [7, 8].

Схема опирания и нагружения образцов при испытаниях – однопролетная балка, свободно опертая по двум сторонам (расстояние между осями опор 10) и симметрично нагруженная двумя сосредоточенными силами с образованием в пролете зоны чистого изгиба длиною 250-300 мм.

Нагружение образцов осуществлялось ступенчато (до 10-15% от разрушающей нагрузки) с выдержкой на каждом этапе по 10-15 минут при помощи испытательной гидромеханической установки, показанной на рис. 1, б. Прогиб в середине пролета фиксировался прогибомером 6-ПАО-0,01, на опорах индикаторами часового типа ИЧ-10. Относительные деформации сжатого и растянутого бетона в зоне чистого изгиба определялись с использованием многооборотных индикаторных головок МИГ-1 на базе 200 мм, закрепленных по обеим сторонам перемычек. Ширина раскрытия трещин изменилась микроскопом МПБ-2, высота их развития – металлической линейкой. Результаты испытаний всех образцов железобетонных перемычек на изгиб после аналитической обработки сведены в таблицу 2.

Таблица 1

Информация по исследуемым образцам перемычек

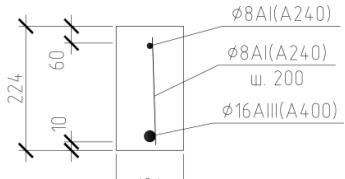
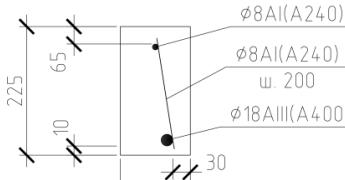
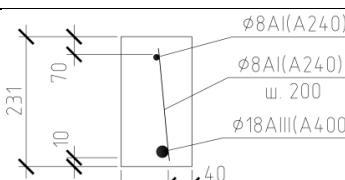
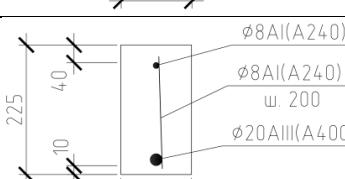
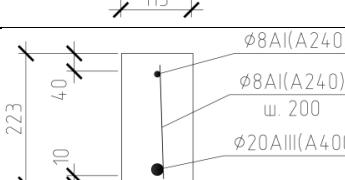
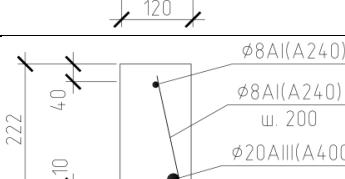
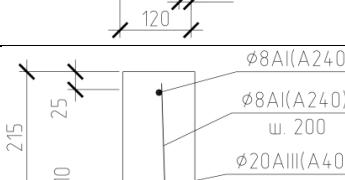
№ серии образцов перемычек / Марка по ГОСТ 948-58	Маркировка образца при испытаниях	Поперечное сечение образца	Фактический класс бетона по прочности на сжатие в середине пролета
1 / БУ 18	ПБ-1,8-1		B20
	ПБ-1,8-2		B20
	ПБ-1,8-3		B20
2 / БУ 16	ПБ-1,6-1		B15
	ПБ-1,6-2		B15
	ПБ-1,6-3		B15
3 / БУ 14	ПБ-1,4-1		B15



Рис. 1. Исследуемые перемычки (а) и общий вид их испытаний (б)

Таблица 2

Основные результаты исследований железобетонных перемычек

Исследуемый параметр	1 серия образцов перемычек			2 серия образцов перемычек			3 серия образцов перемычек ПБ-1,4-1
	ПБ-1,8-1	ПБ-1,8-2	ПБ-1,8-3	ПБ-1,6-1	ПБ-1,6-2	ПБ-1,6-3	
Разрушающая нагрузка $P_{разр}$, кН	56,25	73,75	76,88	97,50	93,75	55,63	81,25
Контрольная разрушающая нагрузка $P_{конпр}$ по ГОСТ 948-58, кН		84,60			71,40		45,10
Изгиб. момент при разрушении M_{max} , кН·м	16,88	22,13	23,06	25,83	24,84	14,74	19,29
Расчетный изгиб. момент $M_{расч}$ по ГОСТ 948-58, кН·м		12,10			9,80		5,30
Расчетная попечерчная $Q_{расч}$ сила по ГОСТ 948-58, кН		33,00			27,00		19,00
Трещиностойкость M_{crc} , кН·м	3,56	3,75	3,91	4,31	3,41	2,75	4,14
Изгиб. момент при ширине раскрытия трещины $a_{crc}=0,3\text{мм}$, кН·м	15,94	18,94	19,68	22,19	21,20	9,44	18,70
Прогиб при разрушении f_{ult} , мм	11,12	10,04	10,62	8,45	8,65	7,59	7,58
Прогиб при $0,7 \cdot M_{max}$, мм	4,98	4,67	4,74	3,75	3,55	3,84	2,57
Высота развития нормальных трещин, мм	130-160	130-160	140-150	140-170	120-160	150-180	120-150
Кол-во трещин в пролете, шт.	10	10	9	10	8	8	6
Расстояние между трещинами, мм	50-170	60-170	90-180	70-150	80-160	70-160	40-120

Характер трещинообразования и разрушения образцов перемычек показан на рис. 2.

В ходе испытаний установлено, что у железобетонных перемычек в растянутой зоне первые нормальные трещины появлялись при нагрузках равных 13,7-21,4%

от разрушающей, наклонные при нагрузках 45,7 – 61,2 % от разрушающей. При дальнейшем нагружении все образцы 1-й и 3-й серий разрушились по нормальному сечению, при этом наблюдался выкол бетона сжатой зоны (разрушение по бетону).



Рис. 2. Характер трещинообразования и разрушения образцов перемычек (масштаб изменен)

Образцы 2-й серии разрушились по наклонным сечениям, что также происходило в схожих исследованиях [9]. У всех рассматриваемых изгибаемых элементов было зафиксировано от 6 до 10

трещин на расстоянии 40-180 мм друг от друга. Значения прогибов в середине пролета при нагрузке равной разрушающей находилось в диапазоне $(1/134-1/177) l_0$.

Как видно из табл. 1 фактическая разрушающая нагрузка образцов перемычек марок ПБ-1,6-1, ПБ-1,6-2 и ПБ-1,4-1 выше (на 31,3-80,2%) соответствующего контрольного значения, регламентируемого ГОСТ 948-58; у всех остальных образцов $P_{разр}$ ниже $P_{контр}$ (на 9,1-33,5%), что может быть связано с выявленными дефектами армирования: перемычки марок ПБ-1,8-2, ПБ-1,8-3 и ПБ-1,6-3 имеют смещения растянутых арматурных стержней от центральной оси поперечного сечения к боковой грани, что на высоких этапах нагружения приводило к косому изгибу образцов; у перемычки ПБ-1,8-1 номинальный диаметр растянутого стержня равен 16 мм, когда у других образцов этой серии имеет величину 18 мм.

Значение расчетного изгибающего момента по ГОСТ 948-58 во всех случаях ниже (в 1,40-3,64 раза) фактического значения изгибающего момента при разрушении перемычек (M_{max}). Аналогичная ситуация, за исключением образца ПБ-1,8-1, наблюдается со значением расчетной поперечной силы (значение поперечной силы, которую воспринимает образец при принятой схеме приложения нагрузок равно $0,5 P_{разр}$). При этом, если сравнивать значение расчетного изгибающего момента со значением изгибающего момента, возникающего при предельно допустимой ширине продолжительного раскрытия трещин равной 0,3 мм, у всех образцов, за исключением ПБ-1,6-3, есть запас прочности (24,1-71,6 %).

Прогибы от действия изгибающего момента равного $0,7 M_{max}$ для всех образцов не превышают предельно допустимых значений ($l_0/150$).

После испытаний железобетонных перемычек на статический изгиб до разрушения, были дополнительно исследо-

ваны бетон и стержни растянутой арматуры.

Индикаторным методом с применением 1%-го раствора фенолфталеина определена величина водородного показателя pH бетона. Установлено, что наименьшей щелочной средой обладают наружные слои бетона, особенно на границах контакта с растянутой арматурой, где $pH \approx 10$, что свидетельствует о частичной нейтрализации защитного слоя углекислым газом CO_2 по причине длительной эксплуатации перемычек на границе сред помещений и наружной атмосферы [10]. Величина защитного слоя растянутой арматуры у всех образцов равна 10 мм, вместо проектного значения 20 мм.

Продольные арматурные стержни нижней зоны перемычек были извлечены из бетона, обследованы и испытаны на осевое растяжение до разрыва на специализированной машине WEW-600D (рис. 3). Зафиксированы локальные коррозионные повреждения арматурной стали глубиной до 0,4 мм на силовом стержне и до 0,6 мм на ребрах и выступах. По ГОСТ 5781-61 для класса арматурной стали АIII (A400) устанавливаются следующие механические характеристики: предел текучести 400 МПа, временное сопротивление разрыву 600 МПа, а относительное удлинение при этом составляет 14%. Фактические диаграммы деформирования представлены на рис. 4. Как видно, у растянутых арматурных стержней перемычек 1-й и 3-й серий отсутствует площадка текучести, что, скорее всего, в большей степени связано с охрупчиванием стали при сварке арматурных каркасов, нежели со старением в результате длительной эксплуатации. Это же могло приводить к серьезному уменьшению величины отно-

сительного удлинения при разрыве. По прочностным показателям арматурные стержни всех перемычек, за исключением

ПБ-1,4-1, удовлетворяют стандартным требованиям.

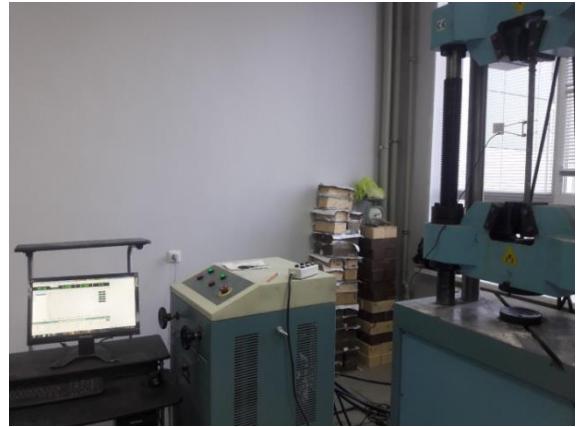


Рис. 3. Процессы извлечения и испытания арматурных стержней на осевое растяжение

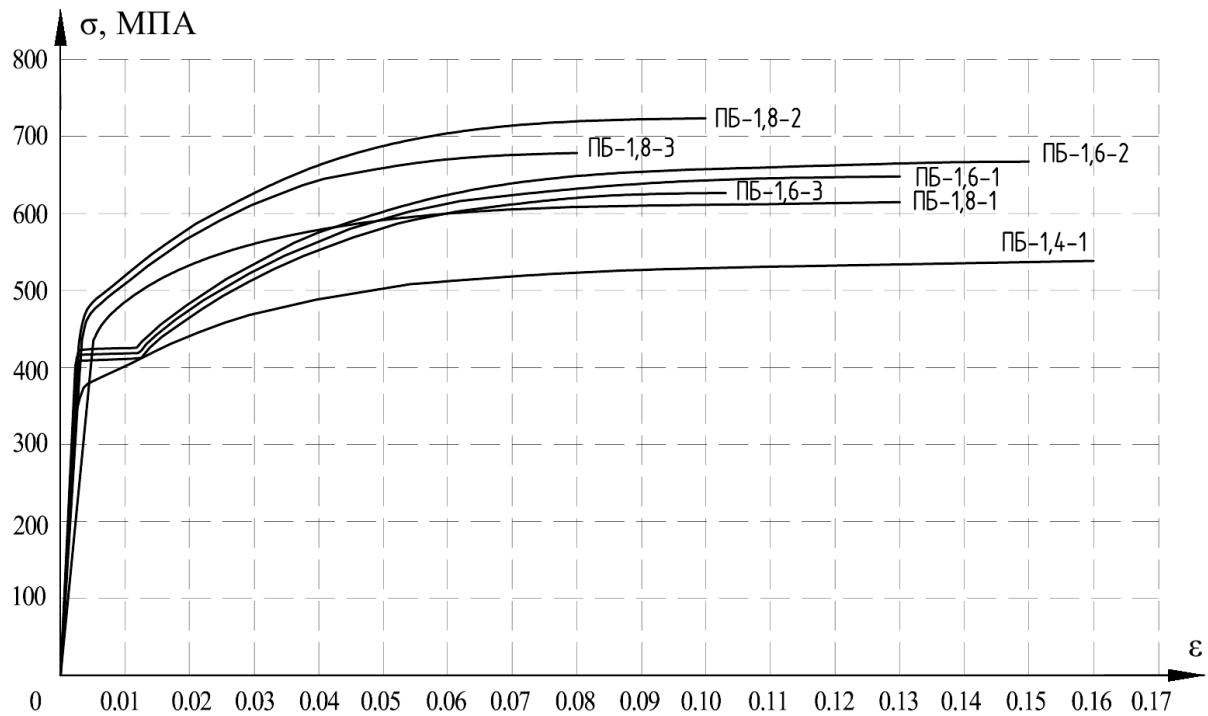


Рис. 4. Диаграммы деформирования стержней растянутой арматуры

Выводы и заключения

Дефекты изготовления железобетонных перемычек в заводских условиях в виде непроектного положения стержней растянутой арматуры и уменьшения ее содержания в поперечном сечении элемента приводят к снижению прочности,

трещиностойкости и жесткости конструкций [9, 11, 12].

Уменьшение защитного бетонного слоя рабочей арматуры и его дальнейшая нейтрализация в процессе длительной эксплуатации конструкций приводит к развитию коррозионных повреждений арматурной стали. Такие повреждения,

накопленные за 52 года, не оказали существенного влияния на работу под нагрузкой конструкций железобетонных перемычек наружных несущих стен общественного здания.

Список литературы

1. Селяев В.П., Бондаренко В.М., Селяев П.В. Прогнозирование ресурса железобетонных изгибающихся элементов, работающих в агрессивной среде, по первой стадии предельных состояний // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 2 (31). С. 14-24.
2. Смоляго Г.А., Фролов Н.В. Методика и программа проведения экспериментальных исследований изгибающихся железобетонных элементов при силовом и средовом воздействии // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. 2017. № 1. С. 135-138.
3. Пухонто Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений: (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен): монография. М.: Изд-во АСВ, 2004. 424 с.
4. Гоциридзе Г.П. К оценке конструктивной безопасности эксплуатируемых конструкций из железобетона // Вестник научных конференций. 2017. № 5-4 (21). С. 33-37.
5. Петров А.В., Еремеева А.И. Техническое состояние конструкций обследуемых зданий и сооружений. Расчет остаточного ресурса // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов . 2015. № 6. С. 76-79.
6. Колчунов В.И. Теория и практика создания ресурсно-энергосберегающих железобетонных конструктивных систем жилых и общественных зданий массового строительства с заданным уровнем конструктивной безопасности // Бетон и железобетон - взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: в 7 т. М., 2014. С. 68-80.
7. Абашин Е.Г. Экспериментальные исследования железобетонных перемычек типа 2ПБ26-4 вибрационными методами // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 53-57.
8. Колчунов В.И., Калашникова О.В. Контроль жесткости конструкций балочного типа, изготовленных из физически нелинейного материала // Строительство и реконструкция. 2013. № 6 (50). С. 21-27.
9. Жильцов Ю.В. Результаты испытаний перемычек загруженных двумя сосредоточенными силами // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, В.П. Попова; Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2015. С. 121-125.
10. Мигунов В.Н., Овчинников И.Г. Теоретические и экспериментальные исследования влияния трещин в защитном слое бетона на физико-технические характеристики изгибающихся, центрально-сжатых и внецентренно-сжатых обычных железобетонных элементов // Дороги и мосты. 2011. № 25. С. 181.
11. Тамразян А.Г., Орлова М.А. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибающихся элементов с трещинами // Современные проблемы

расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия / под ред. А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. М., 2016. С. 507-514.

12. Тамразян А.Г., Орлова М.А. К остаточной несущей способности железобетонных балок с трещинами // Жилищное строительство. 2015. № 6. С. 32-34.

Поступила в редакцию 20.08.18

UDC 624.07

G.A. Smolyago, Doctor of Engineering Sciences, Professor, BSTU named after V.G. Shukhov (Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova Str., 46) (e-mail: tpk-psv@yandex.ru)

N.V. Frolov, Post-Graduate Student, BSTU named after V.G. Shukhov (Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova Str., 46) (e-mail: frolov_pgs@mail.ru)

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS OF CIVIL BUILDING EXTERNAL WALLS

The relevant building codes don't contain methods of calculation of remaining life of reinforced concrete structures. The explanation is that developed methods don't allow to consider many factors concerned with durable exploitation of structural elements: changing loads occurs both in amount and mode and direction of the influence, technological impacts not foreseen by the project are possible, corrosive damages occur and accumulate, the initial deformation-strength properties of concrete and reinforcement are changed. To solve this problem it's important to test the structures, that suffered from real environment conditions. Development, approbation and inclusion of complex engineering methods of forecasting and methods of estimation of the residual life of reinforced concrete structures in normative documents is an actual scientific task facing the researchers in the field of construction. The creation of a modern practical methodology will increase constructive safety in the long-term operation of infrastructure facilities, and will provide an opportunity to more effective manage capital investments in the real estate market. The results of the experimental investigations of reinforced concrete beams of civil building external walls are given in the article. The deformation mode of the specimens until their rupture is described. Manufacturing defects, exploitation corrosion damages and their influence on stress-strain condition of structures are presented. It is noted that in the manufacture of reinforced concrete structures it is necessary to increase the level of quality control of the manufacture of reinforcing frames and to ensure their project position when concreting.

Key words: reinforced concrete beam; experiment; remaining life; bending test; rupture.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-47-57

For citation: Smolyago G.A., Frolov N.V. Experimental Investigations of Reinforced Concrete Beams of Civil Building External Walls. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 47-57 (in Russ.).

Reference

1. Selyayev V.P., Bondarenko V.M., Selyayev P.V. Prognozirovaniye resursa zhelezobetonnykh izgibayemykh elementov, rabotayushchikh v agressivnoy srede, po

pervoy stadii predel'nykh sostoyaniy. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*, 2017, no. 2 (31), pp. 14-24.

2. Smolyago G.A., Frolov N.V. Metodika i programma provedeniya eksperimental'nykh issledovaniy izgibayemykh

zhelezobetonnykh elementov pri silovom i sredovom vozdeystvii. *Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya*, 2017, no. 1, pp. 135-138.

3. Pukhonto L.M. Dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstruktsiy inzhenernykh sooruzheniy: (silosov, bunkerov, rezervuarov, vodonapornykh bashen, podpornykh sten). Moscow, ASV Publ., 2004, 424 p.

4. Gotsiridze G.P. K otsenke konstruktivnoy bezopasnosti ekspluatiruyemykh konstruktsiy iz zhelezobetona. *Vestnik nauchnykh konferentsiy*, 2017, no. 5-4 (21), pp. 33-37.

5. Petrov A.V., Yeremeyeva A.I. Tekhnicheskoye sostoyaniye konstruktsiy obследuyemykh zdaniy i sooruzheniy. Raschet ostatochnogo resursa. *Ekspertiza promyshlennoy bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob'yektor*, 2015, no. 6, pp. 76-79.

6. Kolchunov V.I. Teoriya i praktika sozdaniya resursno-energosberegayushchikh zhelezobetonnykh konstruktivnykh sistem zhilykh i obshchestvennykh zdaniy massovogo stroitel'stva s zadannym urovnem konstruktivnoy bezopasnosti. Beton i zhelezobeton - vzglyad v budushcheye. Nauchnyye trudy III Vserossiyskoy (II Mezhdunarodnoy) konferentsii po betonu i zhelezobetonu. Moscow, 2014, pp. 68-80.

7. Abashin EG Experimental studies of reinforced concrete bridges of 2PB26-4 type by vibrating methods. *Bulletin of the Belgo-*

rod State Technological University named after. V.G. Shukhov, 2016, no. 5, pp. 53-57.

8. Kolchunov V.I., Kalashnikova O.V. Control of stiffness of beam-type structures made of physically nonlinear material. *Construction and Reconstruction*, 2013, no. 6 (50), pp. 21-27.

9. Zhil'tsov YU.V. Rezul'taty ispytaniy peremychek zagrughennykh dvumya sosredotochennymi silami. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitektur*. Stroitel'stvo. Sbornik statey, ed. by Bal'zannikov M.I., Galitskov K.S., Popov V.P. Samara, 2015, pp. 121-125.

10. Migunov V.N., Ovchinnikov I.G. Teoreticheskiye i eksperimental'nyye issledovaniya vliyaniya treshchin v zashchitnom slote betona na fiziko-tehnicheskiye kharakteristiki izgibayemykh, tsentral'noszhatykh i vnetsentrenno-szhatykh obychnykh zhelezobetonnykh elementov. *Dorogi i mosty*, 2011, no. 25, pp. 181.

11. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. Eksperimental'nyye issledovaniya napryazheno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnykh izgibayemykh elementov s treshchinami. Sovremennyye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstruktsiy, zdaniy i sooruzheniy na avariynyye vozdeystviya, ed. by Tamrazyan A.G., Kopanitsy D.G. Moscow, 2016, pp. 507-514.

12. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. K ostatochnoy nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh balok s treshchinami. *Zhilishchchnoye stroitel'stvo*, 2015, no. 6, pp. 32-34.