

УДК 624.012:454

С. Д. Семенюк, д-р техн. наук, Ю. Г. Болошенко

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ НАРАЩИВАНИЕМ СЖАТОЙ ЗОНЫ

В статье рассматривается методика экспериментальных исследований работы железобетонных изгибаемых элементов прямоугольного сечения, усиленных наращиванием сжатой зоны разными материалами. Описаны схемы загрузки конструкции, используемые для ее изготовления материалы, способы контроля возникающих в ней усилий и деформаций, а также контроль прочности и упруго-пластических характеристик вспомогательных образцов. Приводится программа испытаний кубов, призм и опытных балок, усиленных в сжатой зоне сталефибробетоном, мелкозернистым бетоном, мелкозернистым бетоном и арматурой в сжатой зоне без предварительного нагружения. Предлагаемая методика экспериментальных исследований была разработана на основании проанализированных экспериментального и теоретического материалов.

Введение

Поддержание эксплуатационной надежности железобетонных конструкций должно сопровождаться проведением с определенной периодичностью комплекса работ по восстановлению эксплуатационных характеристик, локализации процессов разрушения или по усилению конструкций, несущая способность которых снизилась или должна быть увеличена под новые нагрузки.

Техническое перевооружение и реконструкция промышленных и гражданских зданий и сооружений часто требует усиления строительных конструкций. Главным образом, в усилении нуждаются изгибаемые железобетонные конструкции, в частности балки. Эффективным способом их усиления является наращивание сечений намоноличиванием, дающее возможность существенно увеличить несущую способность конструкции. При этом усиление может производиться при полной или частичной разгрузке и под нагрузкой [1].

Цель эксперимента. Характеристики опытных образцов. Методика проведения испытаний

Основной целью экспериментальных исследований работы железобетон-

ных изгибаемых элементов, усиленных наращиванием сжатой зоны, является определение наиболее эффективного метода усиления на основе сравнения различных материалов, используемых для этой цели, как новых (сталефибробетон), так и традиционных (мелкозернистый бетон).

Эффективность применения сталефибробетона может быть достигнута за счет снижения трудозатрат на арматурные работы, сокращения расхода стали и бетона (за счет уменьшения толщины конструкций), совмещения технологических операций приготовления бетонной смеси и ее армирования, что в конечном итоге приводит к снижению трудоемкости изготовления конструкций на 25–30 % и экономии строительных материалов.

Достаточно перспективным является применение идеи фибрового армирования при ремонтах и усилении железобетонных конструкций, имеющих значительный физический износ, включая аварийные конструкции. В этом случае отпадает необходимость выполнения опалубочных работ, резко уменьшается количество арматурных работ, значительно упрощается процесс укладки бетона, в особенности на труднодоступной поверхности сложной

формы и, как следствие, значительно упрощаются работы по устройству подмостей и лесов. Все это приводит к уменьшению объема строительных работ и их стоимости, что в сочетании с конструктивными достоинствами рассматриваемого метода усиления делает его наиболее конкурентоспособным, а в сложных случаях практически безальтернативным.

Введение стальной фибры в бетон обеспечивает его высокую плотность, что определяет высокие показатели стойкости структуры материала, которые сохраняются при работе под нагрузкой при высоких значениях деформации.

В сталефибробетоне происходит перераспределение усилий с относительно мягкой бетонной матрицы на относительно жесткие фибры. Это явление происходит до и после возникновения трещин. Фибры выполняют две функции: упрочняют бетонную матрицу до возникновения трещин и замедляют дальнейшее их развитие [2].

При одинаковых коэффициентах армирования эффективным является при-

менение тонких фибр, так как при этом уменьшается критическое расстояние между их центрами и снижается вероятность развития трещин. Однако во избежание явления комкования не рекомендуется применять длинные фибры, а при необходимости увеличить коэффициент армирования.

Важным параметром для фибры является отношение ее длины к диаметру l_f / d_f , которое обеспечивает эффективную работу фибры в бетоне и хорошее сцепление. Желательным является отношение, равное 80–100. С увеличением этого отношения ухудшаются условия перемешивания стальной фибры в бетономешалке и появляется склонность ее к комкованию. Выбор длины стальной фибры во многом определяется размером максимального крупного заполнителя бетонной смеси.

Обоснованность применения сталефибробетона как альтернативного материала обусловлена значительным ростом его свойств по сравнению с традиционным бетоном (табл. 1) [3].

Табл. 1. Рост свойств сталефибробетона по сравнению с бетоном*

Свойство	Рост свойств
Предел пропорциональности при растяжении и изгибе	В 2 раза
Предел прочности при растяжении	В 2,5 раза
Предел прочности при изгибе	В 3,5 раза
Предел прочности при сжатии	В 1,5 раза
Ударная прочность	В 10 раз
Вязкость при достижении предела прочности	В 10–20 раз (до 34)
Трещиностойкость по сравнению с железобетоном: – при раскрытии трещин до 0,005 мм – при раскрытии трещин до 0,2 мм	В 2,5–6 раз В 3–3,5 раза
Деформативность	В 2–10 раз
Сопротивление кавитации	В 3 раза
Сопротивление абразии (истираемость)	В 2 раза
Морозостойкость	В 1,5–2 раза
Термостойкость	В 5–7 раз
Коррозионная стойкость	В 2 раза

Примечание – *В таблице приведены данные для сталефибробетона с объемным содержанием фибр около 2 %, диаметром $d_f = 0,25$ мм, отношением $l_f / d_f = 100$, водоцементном отношением 0,50 и матрицей из мелкозернистого бетона

Для проведения испытаний из бетона класса C12/15 формируются балки длиной 1400 мм с размерами поперечного сечения 100×120 мм, армированные двумя арматурными стержнями диаметром 10 мм класса S400 в растянутой зоне сечения, а также арматурой класса S500 диаметром 3 мм в сжатой зоне элемента. В качестве монтажной принята арматура класса S500 диаметром 3 мм, расположенная с шагом 60 мм. В зоне чистого изгиба поперечная арматура отсутствует. Нарращивание выполняется по всей длине балки толщиной 30 мм. Усиление выполняется из мелкозернистого бетона класса C16/20, из мелкозернистого бетона класса C16/20 с арматурой класса S400 диаметром 6 мм, из сталефибробетона. В качестве фибры используются обрезки отработанных канатов, которые после резания перетирают, продувают и обрабатывают горячим паром (температура пара 100–400 °С) или водой (температура воды 70–100 °С). Диаметр фибровых волокон в данном случае составляет 1 мм, длина – 8–10 см. Коэффициент объемного армирования принимают равным 4 % в соответствии с рекомендациями других авторов, занимавшихся исследованием данного вопроса [2].

При изготовлении сталефибробетона все компоненты, включая фибру, перемешиваются, после чего постепенно добавляется вода в заданном водоцементном отношении ($V / Ц = 0,5$) и вся смесь доводится до вязкого состояния, соответствующего способу производства работ при усилении.

Железобетонную балку помещают на две опоры, одна из которых шарнирно-подвижна, а другая шарнирно-неподвижна. Перед проведением испытания замеряют размеры поперечного сечения балки, пролет, расстояния от опор до мест приложения сосредоточенной нагрузки, а после испытания уточняют рабочую высоту сечения и защитный слой бетона. Образец загружают двумя сосредоточенными силами, чтобы образовалась зона чистого изгиба.

Схема нагружения балок, а также схемы армирования опытных образцов представлены на рис. 1. На рис. 2 показана опытная балка в момент испытания.

Балку загружают ступенями, не превышающими 10 % от разрушающей нагрузки, до условного уровня эксплуатации, равного $0,8R_{разр}$. После этого величину ступени уменьшают до 5 %. После каждой ступени приложения нагрузки для возможности проявления пластических деформаций делается пяти-десятиминутная выдержка под нагрузкой. При величине нагрузки, равной $0,8R_{разр}$, производится выдержка в течение 30 мин. Отсчеты по приборам снимают дважды: после приложения очередной ступени нагрузки и после выдержки.

Для определения прочности бетона на сжатие $f_{c,cube}^G$ в соответствии с ГОСТ 10180–90 [4] изготавливаются и испытываются образцы в форме куба с размером ребра 150 мм.

Призмную прочность бетона, модуль упругости и коэффициент Пуассона определяют путем испытания образцов размерами 150×150×600 мм согласно ГОСТ 24452–80 [5]. Опытные и расчетные упругопластические характеристики бетона и их взаимосвязь с испытываемыми балками определяют в соответствии с методикой, разработанной в [6]. Прочностные и деформативные характеристики арматуры определяют по ГОСТ 12004–80 [7].

С целью получения бетона с требуемыми качественными показателями при минимальном расходе цемента или другого вяжущего производится подбор состава бетона в соответствии с требованиями СТБ 1182–99 *Бетоны. Правила подбора состава* [5]. Образцы подвергаются испытаниям после набора ими прочности в возрасте 28 суток и более.

Программа испытаний опытных балок представлена в табл. 2.

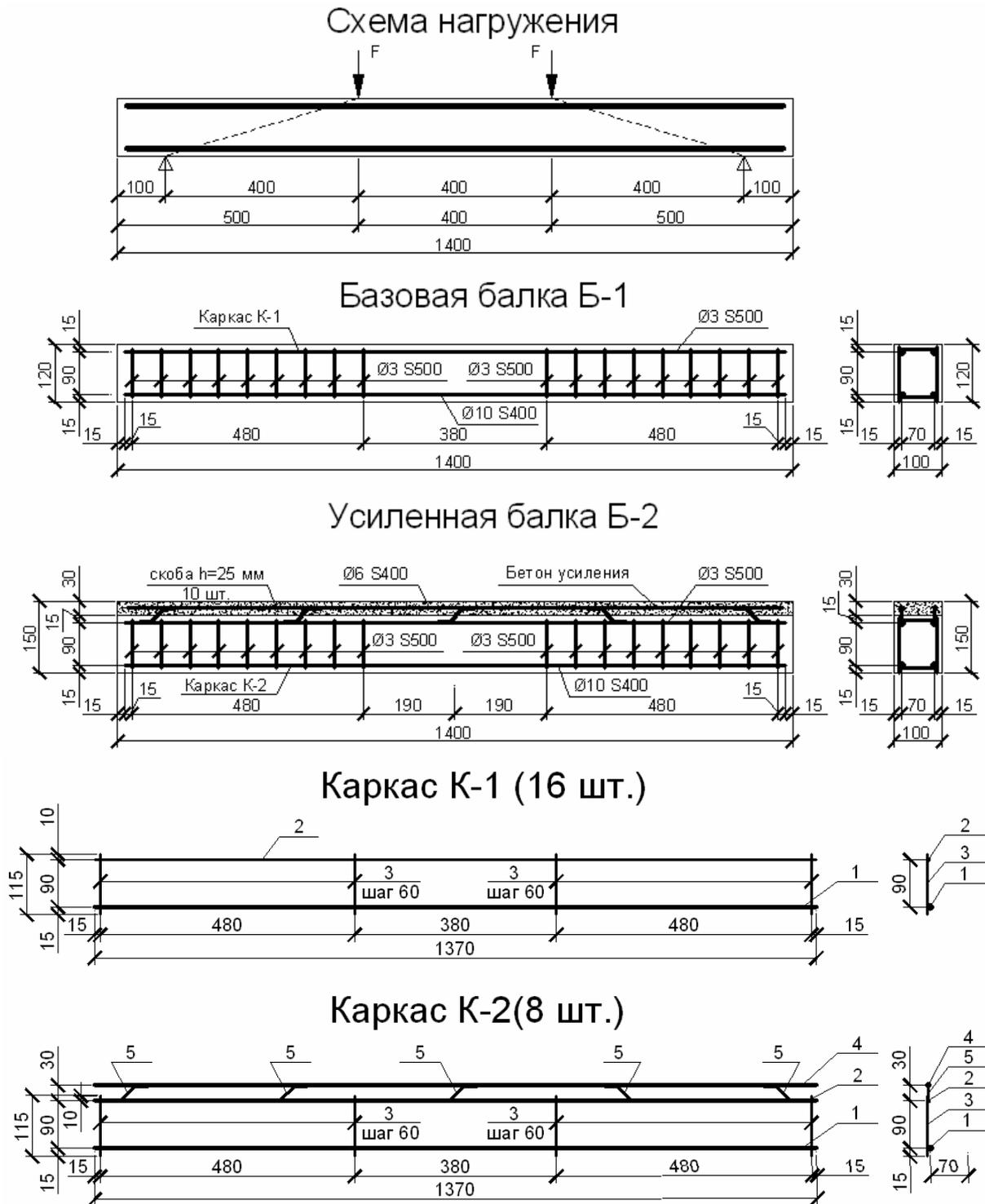


Рис. 1. Схема нагружения балки и армирование опытных образцов



Рис. 2. Испытание опытных балок статическим нагружением

Табл. 2. Программа испытаний опытных балок

Маркировка балок	Способ усиления и его шифр	Поперечное сечение образцов	Цель испытаний	Примечание
1	2	3	4	5
Б1-1, Б1-2	Базовая серия – балки без усиления		Определение прочности, трещиностойкости и жесткости при кратковременном нагружении	Испытание кубов, призм на прочность и деформативность
БС2-1, БС2-2	Балки, усиленные сталефибробетоном без предварительного нагружения		Создание раскрытия трещин в усиливаемой конструкции. Оценка динамичности роста трещин в балке.	Испытание кубов, призм на прочность и деформативность
БСН2-1, БСН2-2	Балки, нагруженные до уровня 0,7–0,8 от разрушающей нагрузки с появлением трещин в растянутой зоне, а затем усиленные сталефибробетоном в сжатой зоне		Изучение деформаций по высоте поперечного сечения балки. Определение прогибов по длине балки	

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
БМЗ-1, БМЗ-2	Балки, усиленные мелкозернистым бетоном без предварительного нагружения		Изучение деформаций по высоте поперечного сечения балки. Определение прогибов по длине балки	Испытание кубов, призм на прочность и деформативность
БМА4-1, БМА4-2	Балки, усиленные мелкозернистым бетоном и арматурой в сжатой зоне без предварительного нагружения		Создание раскрытия трещин в усиливаемой конструкции. Оценка динамичности роста трещин в балке. Изучение деформаций по высоте поперечного сечения балки. Определение прогибов по длине балки	Испытание кубов, призм на прочность и деформативность
БМАН4-1, БМАН4-2	Балки, нагруженные до уровня 0,7–0,8 от разрушающей нагрузки с появлением трещин в растянутой зоне, а затем усиленные мелкозернистым бетоном и арматурой в сжатой зоне		Изучение деформаций по высоте поперечного сечения балки. Определение прогибов по длине балки	Испытание кубов, призм на прочность и деформативность

Заключение

Проведение экспериментальных исследований по изложенной выше методике и анализ полученных результатов дает возможность определить оптимальный вид усиления, который может быть использован для усиления сжатой зоны железобетонных балок методом наращивания, а также позволит впоследствии уточнить методику расчета подобных элементов с учетом реологических свойств бетона и дать правильные конструктивные решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Семенюк, С. Д. Усиление сжатой зоны железобетонных изгибаемых элементов / С. Д. Семенюк, Ю. Г. Болошенко // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. тр. в 2 ч. Ч. 1 : Бетонные и железобетонные конструкции. – Минск, 2007. – С. 306–321.
- Сунак, О. П. Сталефібробетонні конструкції / О. П. Сунак. – Київ : ІЗіМН, 1999. – 158 с.
- ГОСТ 10180–90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1990. – 45 с.
- ГОСТ 24452–80. Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1984. – 20 с.

5. Семенюк, С. Д. К определению модуля упругости и упругопластических характеристик бетона при кратковременном центральном сжатии / С. Д. Семенюк // Вестн. БГТУ. Строительство и архитектура. – 2001. – № 1. – С. 40–45.

6. ГОСТ 12004–81. Сталь арматурная. Ме-

тоды испытания на растяжение. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1981. – 25 с.

7. СТБ 1182–99. Бетоны. Правила подбора состава. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва РБ, 2000. – 7 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 08.02.2008

S. D. Semenyuk, J. G. Boloshenko
Experimental research methods of the work
of ferro-concrete bending elements with
compressed zone strengthened by upbuilding

In the article is considered experimental research methods of the work of ferro-concrete bending elements with the square-wave section with strengthened by upbuilding compressed zone by different materials. Schemes of construction loading, used for its fabrication materials, ways of the checking efforts and deformation are described. Checking of auxiliary samples reliability and springy-plastic features are described too. There is the program of the test cube, prisms and experienced beams with compressed zone strengthened by upbuilding in the article. Materials of the upbuilding are steelfibreconcrete, fine-grained concrete, fine-grained concrete and armature in compressed zone without preliminary loading. The proposed experimental research methods was designed on the grounds of analysed experimental and theoretical materials.