

УДК 624.012

д.т.н., доцент С.Д. Семенюк,  
Ю.Г.Болошенко,  
ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г.Могилев, РБ

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ НАРАЩИВАНИЕМ СЖАТОЙ ЗОНЫ, В УСЛОВИЯХ МАЛОЦИКЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ

*В данной статье рассматриваются особенности работы изгибаемых железобетонных элементов, усиленных увеличением поперечного сечения в сжатой зоне, в условиях малоциклового нагружения. Усиление производится различными материалами: тяжелый бетон, сталефибробетон, бетон с использованием отходов металлургических производств в качестве мелкого заполнителя.*

**Ключевые слова:** железобетонный, изгибаемый, малоцикловое, усиление, наращивание, бетон, сталефибробетон, отходы, заполнитель.

Вопрос безотказной работы элементов конструкций, зданий и сооружений является особо важным при проектировании и эксплуатации. Влияние различных факторов может вызывать переход конструкций зданий и сооружений в техническое состояние, отличное от проектного. В новом состоянии конструкции могут не удовлетворять предъявляемым требованиям по несущей способности, жесткости или трещиностойкости и долговечности.

Одной из разновидностей силовых воздействий на железобетонные конструкции являются малоцикловые многократно повторяющиеся нагружения, которые могут возникать в процессе эксплуатации практически всех конструкций. Анализ характера внешних воздействий позволяет к малоцикловым отнести такие нагрузки, как ветровые, снеговые, нагрузки вызванные землетрясением, от массы людей, мебели, складированных материалов и т.п. [1, 2, 3, 4].

Изучению прочности и деформативности железобетонных элементов при действии постоянной нагрузки посвящены работы Гвоздева А.А., Сахновского, К.В., Голышева А.Б., Мурашева В.М., Немировского Я.М., Прокоповича И.Е., Витнера и др.

К первым исследованиям влияния повторных статических нагружений на прочность бетонных образцов относятся работы Ван Орнума, Де Джоли, Мура, Комерса. Освещению этого вопроса посвящены работы Бабича Е.М., Барашикова А.Я., Гомона С.С., Берга О.Е., Борисюка О.П., Дмитриева С.А.,

Погореляка А.П., Пецольда Т.М., Беккера В.А., Зинчука Н.С., Заречанского О.О. и др. Анализ исследований некоторых авторов показал [1, 2, 3, 4], что к малоцикловым относятся нагружения с количеством циклов  $n < 2 \cdot 10^6$ , однако основные процессы деформирования имеют место лишь на первых десяти циклах.

В 1937–1938 гг. И. М. Литвиновым [5] в ЦНИПСМ проводились испытания балок двух серий, усиленных наращиванием. Наращивание балок в сжатой зоне с неизменной растянутой арматурой усиливаемого элемента при доведении их до разрушения также показало эффективность такого способа усиления и возможность полного использования существующей арматуры при новой высоте сечения. Была проведена серия опытов, когда производилось наращивание первоначально разрушенных балок, которые показали полную возможность производить восстановление разрушенного элемента путем наращивания, так как несущая способность опытных балок была не ниже таких же наращенных, но неразрушенных балок.

Расчет данного вида усиления был подробно рассмотрен Д.Н. Лазовским, Т.М. Пецольдом в пособии по усилению железобетонных конструкций П 1-98 к СНиП 2.03.01-84\* [6], основанные на альтернативной и деформационной моделях. Однако, как показали экспериментальные исследования, результат с достаточной точностью дает также упругопластическая модель расчета [7].

Количество циклов загрузки при проведении эксперимента принято равным 10-15. Это связано с изучением исследований ряда авторов, которые показывают, что условная стабилизация развития деформаций происходит на 5-7 циклах загрузки и значительный их рост наблюдается уже при разрушении опытного образца, поэтому увеличение числа циклов загрузки свыше 10 нецелесообразно [1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12].

Для исследования работы усиленных набетонкой изгибаемых железобетонных элементов в каждой серии опытных образцов изготавливались 6 балок с размерами поперечного сечения  $100 \times 120$  мм длиной 1400 мм из тяжелого бетона (рис. 1). В качестве рабочей используется арматура класса S500 диаметром 10 мм. Монтажная и поперечная арматура класса S500 диаметром 3 мм. В зоне чистого изгиба монтажная и поперечная арматура отсутствует. Наращивание высотой 30 мм выполнялось из бетонов различных видов: из тяжелого бетона, из бетона на основе отходов металлургических производств (ОМП-бетон), сталефибробетона. Прочность контактного шва обеспечивается за счет устройства шпонок.

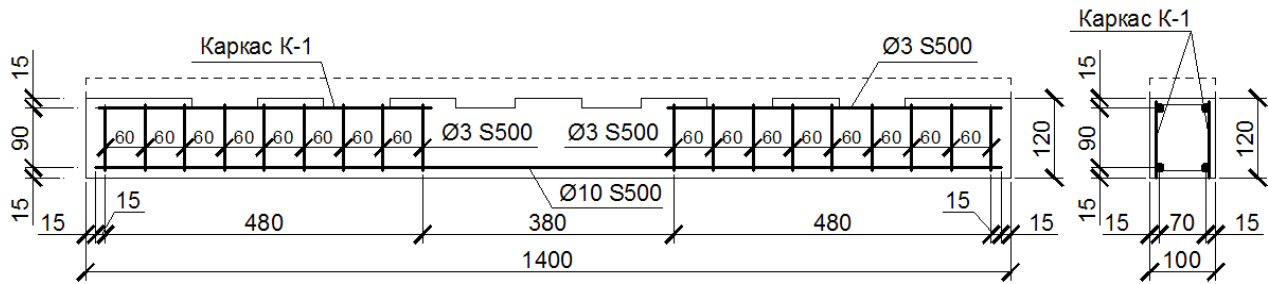


Рис. 1. Схема армирования опытных образцов

В процессе исследования работы конструкций в условиях малоциклового нагружения экспериментально выявлены следующие особенности работы изгибаемых железобетонных элементов: при низких и средних уровнях нагружения материал на 6-8 стадии загрузки становится циклически стабильным; при высоких уровнях (выше критической границы) загрузки происходит стабилизация прироста деформаций; на диаграммах деформирования в некоторых случаях (режим 0,3-0,7(0,9)) имеет место т.н. «эффект Баушингера».

Железобетонную балку нагружали двумя сосредоточенными силами таким образом, чтобы образовалась зона чистого изгиба. Балка опиралась на две опоры, одна из которых шарнирно подвижна, а другая шарнирно неподвижна (рис. 2). Перед проведением испытаний замерялись размеры поперечного сечения балки, пролет, расстояния от опор до мест приложения сосредоточенной нагрузки, а после испытания уточняли рабочую высоту сечения и защитный слой бетона. Балка испытывалась по стандартной методике.

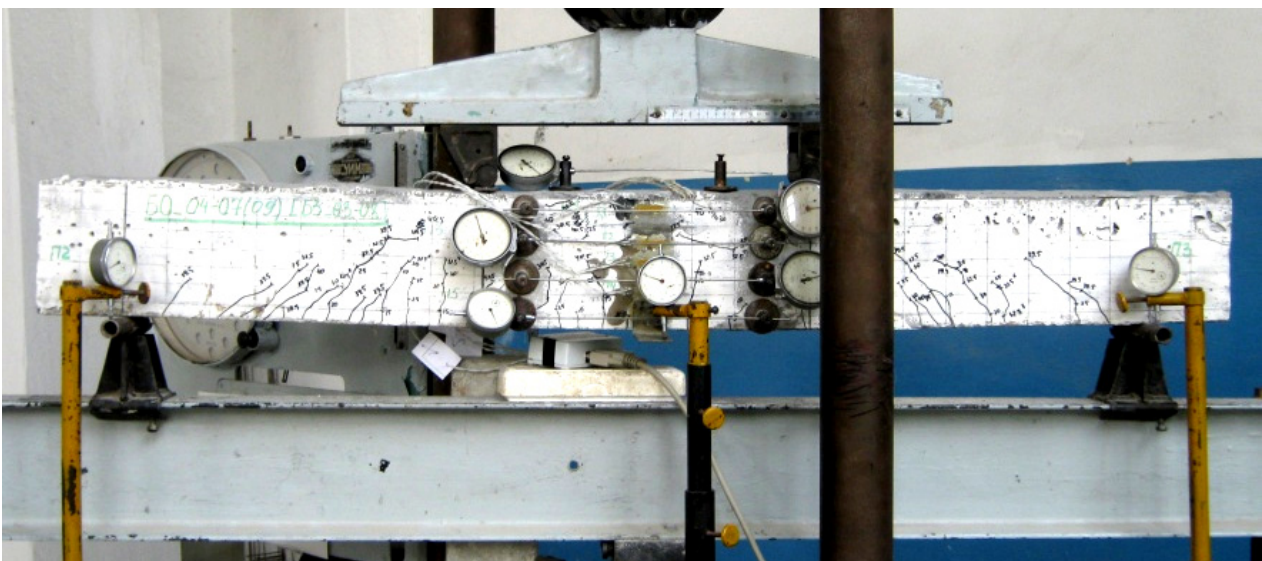


Рис.2. Испытание опытной балки, усиленной наращиванием сжатой зоны

Целью проводимых экспериментальных исследований является выявление особенностей работы железобетонных изгибаемых элементов, усиленных увеличением поперечного сечения в сжатой зоне, у условиях малоциклового нагружения, определение прочности, трещиностойкости и жесткости опытных образцов, оценка динамичности развития трещин в балке, изучение деформаций по высоте поперечного сечения балки, определение прогибов балки.

Образцы первой серии были усилены тяжелым бетоном, класс которого был выше, чем класс бетона базового образца (базовые образцы –  $C^{16}/_{20}$ ; усиление –  $C^{25}/_{30}$ ) в соответствии со стандартной методикой [6].

Образцы второй серии были усилены сталефибробетоном с использованием стальной фрезерованной фибры Narex, изготавливаемой по технологии германской фирмы «Vulkan Narex» на предприятии ЗАО «Курганстальмост» (РФ, г. Курган) в соответствии с ТУ 0882-193-4685090-2005 [13], разработанным ГПУ «НИИЖБ» (Москва). Этот материал был выбран в качестве усиления в связи с тем, что весьма эффективной реализацией всех положительных свойств сталефибробетона может быть использование его не только для усиления конструкции, но и для устройства полов в административных и производственных помещениях, а также в местах общего пользования вследствие его высокой износостойкости и стойкости к образованию трещин, более высоких механических характеристик, а следовательно, и более высокого срока службы по сравнению с обычным бетоном.

Так как сталефибробетон имеет более высокую стоимость по сравнению с тяжелым бетоном, с целью снижения себестоимости устройства усиления при проведении эксперимента был использован бетон более низкого класса (базовые образцы –  $C^{25}/_{35}$ ; усиление –  $C^{20}/_{25}$ ).

Несущая способность бетона с использованием отходов металлургических производств в качестве мелкого заполнителя (ОМП-бетона) при малоцикловых нагрузках не снижается, а может увеличиться до 5% по сравнению с однократным нагружением. Это связано с тем, что критическая граница для ОМП-бетона значительно выше, чем для традиционного ( $\eta_v^{ОМП}=0,88 > \eta_v^{TP}=0,7$ ) [14, 15, 16]. Таким образом, ОМП-бетоны могут быть использованы при проектировании строительных конструкций, работающих на сжатие, а также в качестве усиления сжатой зоны изгибаемых железобетонных элементов [16]. Для усиления был использован ОМП-бетон того же класса, что и бетон базовых образцов (базовые образцы –  $C^{20}/_{25}$ ; усиление –  $C^{20}/_{25}$ ).

В таблице 1 представлены результаты экспериментальных исследований усиленных образцов.

Таблица 1

## Сравнительный анализ опытных данных

Описание образцов	Несущая способность			Прогиб (при $w_k=0,3$ мм)			Отн. деформации сжатой зоны		
	тяж.бетон	СФБ	ОМП	тяж.бетон	СФБ	ОМП	тяж.бетон	СФБ	ОМП
монотонное нагружение	↑ на 60%	↑ на 55%	↑ на 40%	-	-	-	-	-	-
высокий уровень	↓ до 3%	↓ на 2-3%	↓ на 5-7%	↓ на 3-5%	↓ на 7-10%	↓ на 7-15%	↓ на 4-6%	↓ на 30-40%	↑ до 100%
[низкий уровень]	↑ на 60%	↑ на 60-70%	↑ на 30-40%	↓ на 3-8%	↓ на 25-30%	↓ на 15-20%	↓ до 10%	↓ на 20-30%	↓ на 20-30%
высокий уровень	↓ на 5%	↓ на 15-20%	↓ на 20-25%	↑ на 5-15%	↑ на 7-10%	↑ до 10%	↑ на 15-25%	↑ до 10%	↑ до 250%
[высокий уровень]	↑ на 50-55%	↑ на 55-60%	↑ на 20-25%	↑ на 2-4%	↑ на 10-20%	↑ на 20-30%	↑ на 10-20%	↑ на 50-60%	↑ на 20-30%
Примечание:									
1) в квадратных скобках указан режим нагружения базовых образцов;									
2) символ «↑» означает увеличение показателя, символ «↓» - уменьшение показателя;									
3) для несущей способности: в числителе – изменение несущей способности по сравнению с монотонным нагружением; в знаменателе – увеличение несущей способности по сравнению с базовыми образцами;									
4) для прогибов, относительных деформаций сжатой зоны: в числителе – изменение прогибов на уровне $\eta=0,6$ ; в знаменателе – изменение прогибов на уровне $\eta=1,0$ .									

При низких и средних режимах нагружения несущая способность изгибаемых железобетонных элементов не изменяется. При высоких режимах нагружения несущая способность напрямую зависит от режима нагружения, имевшем место до усиления. Чем более неблагоприятным был режим нагружения до усиления, тем меньшей окажется несущая способность усиленной конструкции.

При низких уровнях предварительного нагружения окончательные прогибы были меньше, чем при монотонном нагружении до разрушения, а при высоких уровнях предварительного нагружения – увеличиваются. При проведении экспериментальных исследований при ширине раскрытия трещин 0,3 мм балка считалась разрушенной. В данном случае характерно то, что при усилении стаклефибробетоном трещины развивались медленнее, поэтому прогибы оказались более значительными. Таким образом, при усилении стаклефибробетоном трещиностойкость балки несколько увеличивается, т.к. деформативность стаклефибробетона, используемого в сжатой зоне, ниже, чем

деформативность тяжелого бетона. Сталефибробетон вследствие введения фибры может воспринять без разрушения значительно большие деформации.

По итогам проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод о том, что самым неблагоприятным режимом загрузки является режим с внезапным увеличением нагрузки с возвращением к прежнему эксплуатационному уровню (режим 04-07(09)). Для учета особенностей этого режима эксплуатации необходимо введение понижающего коэффициента при расчете железобетонных изгибаемых элементов, усиленных наращиванием сжатой зоны. Особо актуальным этот режим является для конструкций покрытия.

Усиление тяжелым бетоном высокого класса дает возможность снизить влияние малоциклового нагружения на работу конструкции, т.к. эта особенность характерна для бетонов высокого класса при работе на сжатие. Однако усиление сталефибробетоном также дает ряд преимуществ: хотя режим загрузки оказывает существенное влияние на несущую способность элементов, но увеличение несущей способности по сравнению с базовыми (неусиленными) образцами отличается незначительно; снижаются трудозатраты на устройство полов, т.к. набетонку из сталефибробетона при соответствующей доработке [17, 18] можно использовать в качестве пола в административных и производственных помещениях. Также применение сталефибробетона дает возможность снизить деформативность конструкции в целом. Использование ОМП-бетона имеет меньшую эффективность, однако дает возможность снизить стоимость усиления, а применять отходы в производстве бетона вместо складирования их в отвалы.

### Литература

1. Кухнюк О. М. Влияние малоцикловых нагружений на механические характеристики бетона и работу изгибаемых железобетонных элементов : автореф. дис... канд. техн. наук: – Львов : 2001. – 16 с. – укр.
2. Зинчук Н. С. Прочность и деформативность железобетонных изгибаемых элементов при малоцикловых нагружениях в условиях повышенных температур: автореф. дис... канд. техн. наук: – Львов : 2008. – 16 с. – укр.
3. Гомон С. С. Работа и несущая способность кососжатых железобетонных элементов при малоцикловых нагружениях: автореф. дис... канд. техн. наук: – Львов : 2008. – 16 с. – укр.
4. Бабич Є. М. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень : монографія / Є. М. Бабич, Ю. О. Крусь. – Рівне : Вид-во РДТУ, 1999. – 119 с.

5. Литвинов И. М. Усиление и восстановление железобетонных конструкций / И. М. Литвинов. – М.: Стройиздат, 1942. – 95 с.
6. Пособие П 1-98 к СНиП 2.03.01-84\*. Усиление железобетонных конструкций. – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 1998. – 190 с.
7. Семенюк С. Д. К расчету прочности нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов / С. Д. Семенюк, Ю. Г. Болошенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будовлі та споруди: збірник наукових праць. Вып. 18. – Рівне : Національний університет водного господарства та природокористування. – 2009. – С. 318–325.
8. Панчук Ю. М. Работа згинальних залізобетонних елементів зі змешаним армуванням при високих рівнях малоциклового навантаження: автореф. дис... канд. техн. наук:– Львів: 2000.–19 с.
9. Борисюк А. И. Особенности работы керамзитобетонных и керамзитожелезобетонных элементов при однократном и малоцикловом сжатии : автореф. дис... канд. техн. наук: – Киев : 1991. – 23 с.
10. Кухнюк О. М. Дослідження та розрахунок залізобетонних балок за малоциклових навантажень низких, середніх і високих рівнів / О. М. Кухнюк, Ю. М. Панчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будовлі та споруди: збірник наукових праць. Вып. 17. – Рівне : Національний університет водного господарства та природокористування. – 2008. – С. 223–231.
11. Бабич Є. М. Деструктивні особливості і малоциклова втомленість важкого бетону при малоцикловому стиску // Є. М. Бабич, Ю. М. Панчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будовлі та споруди: збірник наукових праць. Вып. 4. – Рівне : Національний університет водного господарства та природокористування. – 2000. – С. 106–110.
12. Гомон С. С. Прогини косостиснутих залізобетонних елементів при дії малоциклових навантажень / С. С. Гомон // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будовлі та споруди: збірник наукових праць. Вып. 18. – Рівне : Національний університет водного господарства та природокористування. – 2009. – С. 157–162.
13. ТУ 0882-193-4685090-2005. Стальная фибра фрезерованная для армирования бетона.– Взамен ТУ 0991-125-46854090-2001; введ. 01.03.2005. – М.: Госстрой РФ. – 2005. – 7 с.
14. Семенюк С.Д. Отработанные пески формовочных смесей – мелкий заполнитель бетонов / С.Д. Семенюк, Р.П. Семенюк. // Бетон и железобетон. – Могилев, 1992. – №7. – С. 29–30.
15. Семенюк С.Д. Исследование эффективности использования гранулированного ваграночного шлака в качестве заполнителя для

жаростойкого бетона / С.Д. Семенюк, Д.А. Ковширко // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – Могилев, 2003. – № 2(12). – С. 64–73.

16. Семенюк С.Д. Бетон с использованием отходов литейно-металлургических производств при однократном и малоцикловом нагружениях / С.Д. Семенюк, Ю. Г. Болошенко, Т. С. Бурко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Вып. 39. – Одесса, 2010. – С. 240–247.

### **Анотація**

У даній статті розглядаються особливості роботи згинальних залізобетонних елементів, підсилених збільшенням поперечного перерізу в стиснутій зоні, в умовах малоциклового навантаження. Посилення проводиться різними матеріалами: важкий бетон, сталеві фібробетон, бетон з використанням відходів металургійних виробництв в якості дрібного заповнювача.

### **Annotation**

This article discusses the features of flexural concrete elements reinforced with an increase in cross-section in the compressed zone under low-cycle loading. Amplification from a variety of materials: heavy-weight concrete, steel fibre concrete, concrete using waste iron and steel industries as fine aggregate.