

УДК 624.012:454

Ю. Г. Болошенко

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСИЛЕННЫХ НАРАЩИВАНИЕМ СЖАТОЙ ЗОНЫ, В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЗОК

В статье рассматривается методика проведения экспериментальных исследований первой серии образцов в виде железобетонных балок, усиленных увеличением поперечного сечения в сжатой зоне. Предложенная методика позволяет исследовать прочность и деформативность опытных образцов при действии многократно повторяющихся нагрузок.

### *Введение*

Вопрос безотказной работы элементов конструкций, зданий и сооружений является особо важным при проектировании и эксплуатации. Влияние внешней среды, неблагоприятных физико-геологических процессов, высокотемпературного нагрева при пожаре, нарушение нормальных условий эксплуатации, увеличение по сравнению с проектной нагрузок, а также недоработки на стадии проектирования и строительства вызывают 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.

Рациональное проектирование железобетонных конструкций вызывает необходимость совершенствования существующих методов расчета, которые обеспечивают более полное соответствие реальной работе конструкции. Учет реальных механических свойств материалов, изучение деформаций и деструктивных процессов железобетонных конструкций под воздействием силовых и атмосферных факторов является важным условием при решении задач теории и практики железобетона.

### *Малоцикловое нагружение*

Одной из разновидностей силовых воздействий на железобетонные конструкции являются малоцикловые немно-

гократно 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. [1–4]. К настоящему времени не изучено влияние малоцикловых нагружений на работу усиленных железобетонных элементов. Большая часть исследований как в странах СНГ, так и за рубежом посвящена работе железобетонных конструкций при действии кратковременных, длительных и многократно повторяющихся нагружений. До недавнего времени при исследовании поведения железобетонных конструкций при повторяющихся нагрузках внимание уделялось, главным образом, изучению прочности, развитие деформаций при этом изучалось в меньшей степени, так как сечение несущих элементов было достаточно большим и прогибы по сравнению с сечением были невелики. Лишь в последние 10–15 лет этому вопросу стали придавать достаточное значение в связи со стремлением к снижению материалоемкости железобетонных конструкций, а также использованию материалов, позволяющих уменьшить поперечные сечения, что приводит к увеличению деформативности элементов. Все вышесказанное и определяет актуальность

проводимых исследований.

Анализ данных [1–4] показал, что к малоцикловым относятся нагружения с количеством циклов  $n < 2 \cdot 10^6$ , однако основные процессы деформирования имеют место лишь на первых десяти циклах. Для первого цикла нагружения характерно интенсивное изменение высоты сжатой зоны. При дальнейшем нагружении образцов малоциклового нагружения отмечается ее стабилизация. Дальнейшее уменьшение высоты сжатой зоны бетона происходит уже при разрушении образца.

#### **Усиление изгибаемых железобетонных конструкций наращиванием сжатой зоны**

Обеспечение безотказной работы конструкций зданий и сооружений – одна из важнейших проблем строительной науки. Это связано с тем, что, во-первых, многие здания и сооружения имеют национальную и общечеловеческую ценность, во-вторых, снос существующего здания или сооружения и возведение на его месте нового нерентабельны. Наиболее распространенным методом увеличения несущей способности изгибаемых железобетонных элементов является наращивание сжатой зоны намоноличиванием. Это объясняется простотой технологии выполнения ремонтных работ.

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. Эти опыты показали полную возможность производить восстановление разрушенного элемента путем наращивания, так как несущая способность опытных балок была не ниже несущей способности об-

разцов, усиленных наращиванием без предварительного разрушения.

Расчет данного вида усиления, основанный на альтернативной и деформационной моделях, 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]. Однако, как показали проведенные экспериментальные исследования, результат с достаточной точностью дает также упругопластическая модель расчета [7].

#### **Методика проведения экспериментальных исследований**

Для предварительного расчета несущей способности опытных образцов используется упругопластическая модель с использованием фактических характеристик материалов. Для определения кубиковой прочности бетона  $f_{c,cube}^G$  в соответствии с ГОСТ 10180-90 [8] изготавливаются и испытываются образцы в форме куба с размером ребра 150 и 100 мм с учетом поправочных коэффициентов [9]. Призмную прочность бетона, модуль упругости и коэффициент Пуассона определяют путем испытания образцов размерами 150×150×600 мм и 100×100×400 мм согласно ГОСТ 24452-80 [10]. Опытные и расчетные упругопластические характеристики бетона и их взаимосвязь с испытываемыми балками определяются методом линейного корреляционного анализа [11, 12]. Прочностные и деформативные характеристики арматуры определяют по ГОСТ 12004-80 [13]. 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 [14], а также рекомендациями [15]. Образцы подвергаются испытаниям после набора ими прочности в возрасте 28 суток и более.

В первой серии образцов изготавливаются шесть балок с размерами поперечного сечения 100×120 мм длиной 1400 мм из тяжелого бетона класса

C12/15. В качестве рабочей используется арматура класса S500 диаметром 10 мм, монтажной и поперечной – арматура класса S500 диаметром 3 мм. В зоне чистого изгиба монтажная и поперечная арматура отсутствует (рис. 1). Нарращивание высотой 30 мм выполняется из тяжелого бетона класса C20/25 согласно требова-

ниям [6]. Класс бетона выбирается таким образом, чтобы разрушение усиленных образцов происходило вследствие достижения рабочей арматурой предела текучести. Прочность контактного шва обеспечивается за счет устройства шпонок (см. рис. 1).

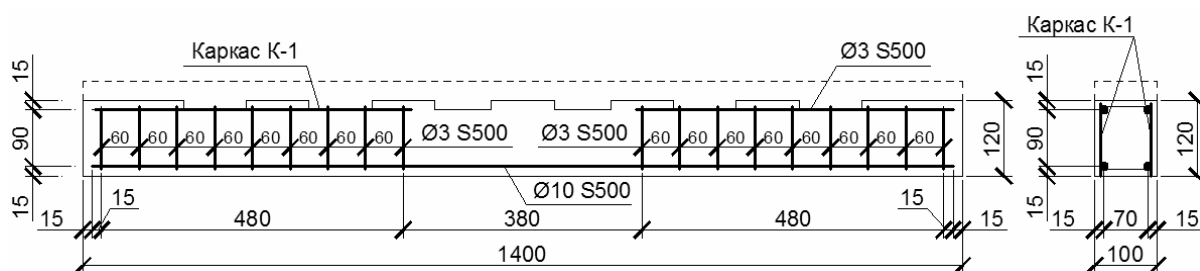


Рис. 1. Армирование опытных образцов первой серии

Железобетонную балку нагружают двумя сосредоточенными силами так, чтобы образовалась зона чистого изгиба. Балку помещают на две опоры, одна из которых шарнирно-подвижна, а другая шарнирно-неподвижна (рис. 2). 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.

Целью проводимых экспериментальных исследований являются выявление особенностей работы железобетонных изгибаемых элементов, усиленных увеличением поперечного сечения в сжатой зоне, в 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.

Балку загружают ступенями, не превышающими 10 % от разрушающей нагрузки, до условного уровня эксплуатации, равного  $0,8 \cdot P_{\text{разр}}$ . После этого величину ступени уменьшают до 5 %. После

каждой ступени приложения нагрузки для возможности проявления пластических деформаций делается пятидесятиминутная выдержка под нагрузкой. При величине нагрузки, равной  $0,8 \cdot P_{\text{разр}}$ , производится выдержка не менее 30 мин при монотонном нагружении образца. Отсчеты по приборам снимают дважды: непосредственно после приложения очередной ступени нагрузки и после выдержки. При испытании малоциклового нагружения образец загружают ступенями до верхнего уровня нагружения, затем разгружают до нижнего уровня в соответствии с программой проведения испытаний (табл. 1).

Особенности предложенной методики испытания опытных образцов при действии многократно повторяющейся нагрузки связаны с тем, что в большинстве случаев при малоцикловых нагружениях имеет место перенагружение: в определенный момент времени эксплуатационный уровень, равный 60–70 % от разрушающей нагрузки, может быть превышен и достигнет 80–90 %, т. е. величина приложенной нагрузки может превышать ее нормативные и расчетные значения (особенно

это относится к нагрузкам природного характера) [4]. Методика проведения экспериментальных исследований и марки-

ровка опытных балок представлена в табл. 1.

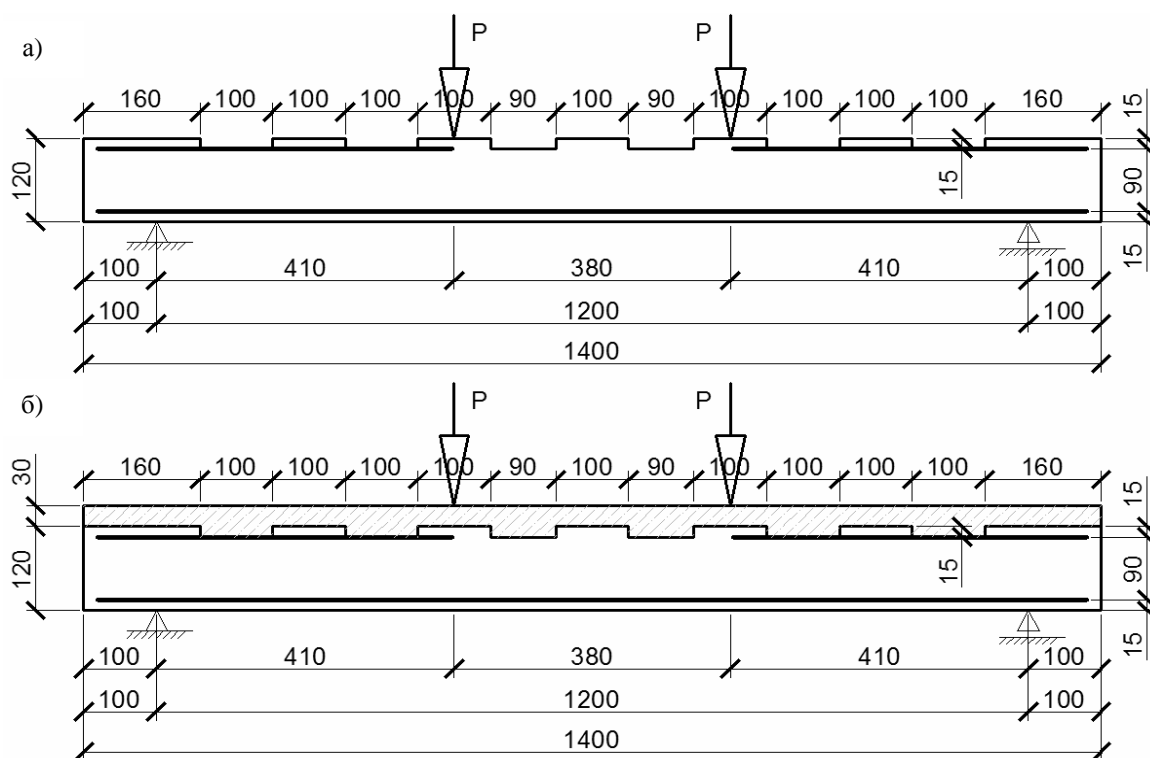


Рис. 2. Схема нагружения опытной балки первой серии: а – базовой балки без усиления; б – балки, усиленной наращиванием сжатой зоны

Табл. 1. Программа проведения экспериментальных исследований первой серии образцов

Маркировка образца	Испытание образца до усиления	Испытание усиленного образца
1	2	3
<b>Б1</b> (базовая балка) <b>ББ1</b> (балка, усиленная тяжелым бетоном)	Испытание статической нагрузкой до разрушения	Испытание статической нагрузкой до разрушения
<b>Б1_0,3-0,6</b> (базовая балка) <b>ББ1_0,3-0,6</b> (балка, усиленная тяжелым бетоном)	Испытание малоцикловой нагрузкой: нижний уровень нагружения $0,3 \cdot P_{разр}$ , верхний уровень $0,6 \cdot P_{разр}$ (средний уровень нагружения) на протяжении 15 циклов. На 16 цикле образец разрушается	Испытание малоцикловой нагрузкой: нижний уровень нагружения $0,3$ , верхний уровень $0,6$ на протяжении 15 циклов. На 16 цикле образец разрушается
<b>Б1_0,3-0,8</b> (базовая балка) <b>ББ1_0,3-0,8</b> (балка, усиленная тяжелым бетоном)	Испытание малоцикловой нагрузкой: нижний уровень нагружения $0,3$ , верхний уровень $0,8$ (высокий уровень нагружения) на протяжении 15 циклов. На 16 цикле образец разрушается	Испытание малоцикловой нагрузкой: нижний уровень нагружения $0,3$ , верхний уровень $0,8$ на протяжении 15 циклов. На 16 цикле образец разрушается

Окончание табл. 1

1	2	3
<b>Б1_0,3-0,6;0,3-0,8</b> (базовая балка) <b>ББ1_0,3-0,6;0,3-0,8</b> (балка, усиленная тяжелым бетоном)	Испытание малоцикловой нагрузкой: нижний уровень нагружения 0,3, верхний уровень 0,6 на протяжении 10 циклов; нижний уровень нагружения 0,3, верхний уровень 0,8 на протяжении еще 10 циклов. На 21 цикле образец разрушается	Испытание малоцикловой нагрузкой: нижний уровень нагружения 0,3, верхний уровень 0,6 на протяжении 10 циклов; нижний уровень нагружения 0,3, верхний уровень 0,8 на протяжении еще 10 циклов. На 21 цикле образец разрушается
<b>Б1_0,3-0,6(0,9)</b> (базовая балка) <b>ББ1_0,3-0,6(0,9)</b> (балка, усиленная тяжелым бетоном)	Испытание малоцикловой нагрузкой: нижний уровень нагружения 0,3, верхний уровень 0,6 на протяжении циклов 1–5; на цикле 6 балка нагружается от уровня 0,3 до уровня 0,9; на циклах 7–10 нижний уровень нагружения 0,3, верхний уровень 0,6. На цикле 11 образец разрушается	Испытание малоцикловой нагрузкой: нижний уровень нагружения 0,3, верхний уровень 0,6 на протяжении циклов 1–5; на цикле 6 балка нагружается от уровня 0,3 до уровня 0,9; на циклах 7–10 нижний уровень нагружения 0,3, верхний уровень 0,6. На цикле 11 образец разрушается
<b>Б1-0,7_0,3-0,6(0,9)</b> (базовая балка) <b>ББ1-0,7_0,3-0,6(0,9)</b> (балка, усиленная тяжелым бетоном)	Предварительное нагружение малоцикловой нагрузкой: нижний уровень 0,3, верхний уровень 0,7 на протяжении 10 циклов. Образец не разрушается (модель эксплуатационной нагрузки без потери несущей способности)	Испытание малоцикловой нагрузкой: нижний уровень нагружения 0,3, верхний уровень 0,6 на протяжении циклов 1–5; на цикле 6 балка нагружается от уровня 0,3 до уровня 0,9; на циклах 7–10 нижний уровень нагружения 0,3, верхний уровень 0,6. На цикле 11 образец разрушается

Деформации бетона по высоте балки измеряют при помощи тензорезисторов на базе 50 мм [9, 16], а также индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм. Деформации арматуры определяют путем наклеивания тензорезисторов с базой 20 мм на арматурный стержень до бетонирования [9, 16]. Прогибы образца фиксируются прогибомером «Максима» и индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм посередине пролета и на опорах для учета прогиба траверсы пресса. Ширина раскрытия трещин замеряется прибором МПБ-2 с 24-кратным увеличением и ценой деления 0,05 мм. Схема установки приборов приведена на рис. 3.

Количество циклов загрузки при проведении эксперимента принято 10–15, т. к. исследования ряда авторов показывают, что условная стабилизация развития деформаций происходит на циклах 5–7 загрузки и значительный их рост

наблюдается уже при разрушении опытного образца, поэтому увеличение числа циклов загрузки свыше 10 нецелесообразно [1–4, 17–23].

### Вывод

Предложенная программа проведения экспериментальных исследований позволяет выявить особенности работы изгибаемых железобетонных элементов, усиленных наращиванием, при различных уровнях загрузки малоцикловой нагрузкой и при различной асимметрии цикла, что имитирует работу конструкций в реальных условиях, т. е. с учетом резкого увеличения нагрузки в какой-то момент времени (например, установка дополнительного оборудования на время ремонта помещений, устройство временных складов и т. п.).

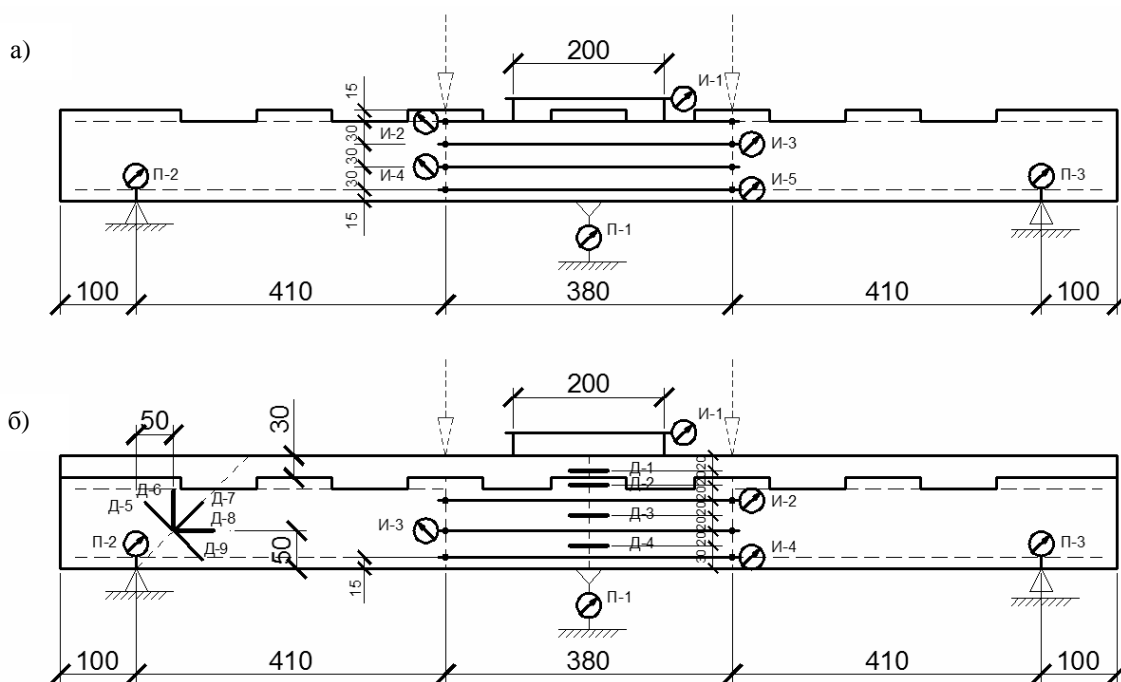


Рис. 3. Схема установки приборов на опытной балке: а – базовой балки без усиления; б – балки, усиленной наращиванием сжатой зоны

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кухнюк, О. М. Вплив малоциклових навантажень на механічні характеристики бетону та роботу згинальних залізобетонних елементів : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Львів : 2001. – 16 с.
2. Зінчук, М. С. Міцність та деформативність залізобетонних згинальних елементів за малоциклових навантажень в умовах підвищених температур : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Львів : 2008. – 16 с.
3. Гомон, С. С. Робота та несуча здатність косостиснутих залізобетонних елементів за малоциклових навантажень : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Львов : 2008. – 16 с.
4. Бабич, Э. М. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень : монографія / Э. М. Бабич, Ю. О. Крусь. – Рівне : 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 : М-во архитектуры и стр-ва 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 : зб. наук. пр. – Рівне : Нац. ун-т вод-

ного господарства та природокористування. – 2009. – Вып. 18. – С. 318–325.

8. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1990. – 45 с.

9. Испытания сооружений / Ю. Д. Золотухин [и др.]. – Минск : Выш. шк., 1992. – 272 с.

10. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1984. – 20 с.

11. Научно-методический центр «Электронная книга БГУ» [Электронный ресурс] / А. В. Блохин Теория эксперимента : курс лекций в 2 ч. Ч. 1. – Электрон. текст. дан. – Минск, 2003. – Режим доступа: <http://anubis.bsu.by/publications/elresources/Chemistry/blohin1.pdf>. – Электронная версия печ. публикации, 2002.

12. 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.

13. ГОСТ 12004-80. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1981. – 25 с.

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

15. Аханов, В. С. Справочник строителя / В. С. Аханов, Г. А. Ткаченко. – Ростов н/Д : Феникс, 2004. – 480 с.

16. ГОСТ 21616-91. Тензорезисторы. Общие технические условия. – М. : Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. – 47 с.

17. Панчук, Ю. М. Работа згинальних залізобетонних елементів зі змешаним армуванням при високих рівнях малоциклового навантаження : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Львів : 2000. – 19 с.

18. Борисюк, А. И. Особенности работы керамзитобетонных и керамзитожелезобетонных элементов при однократном и малоцикловом сжатии : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев : 1991. – 23 с.

19. 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 : зб. наук. пр. – Рівне : Нац. ун-т водного господарства та природокористування. – 2008. – Вып. 17. – С. 223–231.

20. Бабич, Э. М. Деструктивні особливості і малоциклова втомленість важкого бетону при малоциклового стиску // Э. М. Бабич, Ю. М. Панчук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будовлі та споруди : зб. наук. пр. – Рівне : Нац. ун-т водного господарства та природокористування. – 2000. – Вып. 4. – С. 106–110.

21. Гомон, С. С. Прогини косостиснутих залізобетонних елементів при дії малоциклових навантажень / С. С. Гомон // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будовлі та споруди : зб. наук. пр. – Рівне : Нац. ун-т водного господарства та природокористування. – 2009. – Вып. 18. – С. 157–162.

22. Філіпчук, С. В. Робота замкнутих залізобетонних рам при повторних малоциклових навантаженнях : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Полтава : 2009. – 21 с.

23. Заречанский, О. О. Особливості роботи стиснуто-зігнутих залізобетонних елементів при одноразових і повторних малоциклових навантаженнях : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Львів : 2008. – 20 с.

Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 11.05.2009

**J. G. Boloshenko**

**The procedure of experimental investigation into the work of ferroconcrete bending elements reinforced with upbuilding of a compressed zone in conditions of minicycle loads**

The paper describes the procedure of making experimental investigation into the first series of samples in the form of ferroconcrete beams reinforced by the increase in the cross section in the compressed zone. The method offered permits to investigate sample strength and deformability under the action of seldom repeated loads.