

## **ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ НАРАЩИВАНИЕМ В СЖАТОЙ ЗОНЕ БЕТОНОМ ИЗ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД**

**Валовой М.О.**

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*

**Попруга Д.В.**

*Криворожский технический университет*

---

**Проблема и её связь с научным и практичным заданием.** Реализация широкой программы внедрения в строительство новых материалов и технологий требует особого внимания к реконструкции и модернизации зданий и сооружений. В процессе реконструкции выполняют изменение или усиление существующих строительных конструкций.

Усиление железобетонных конструкций выполняют с целью увеличения их несущей способности и жесткости, а также в связи с повреждениями, которые они получают во время строительства, эксплуатации, за счет действия агрессивной окружающей среды и т.п.

Усиление железобетонных элементов, которые работают на изгиб, можно выполнять двумя основными способами:

- устройством разгружающих элементов;
- усилением слоем бетона или железобетона.

При первом способе усиливают элементы, главным образом, неповрежденных конструкций.

Второй способ усиления – наращивание бетоном или железобетоном.

Наиболее распространенным методом повышения несущей способности железобетонных элементов, которые работают на изгиб, есть наращивание растянутой или сжатой зон слоем железобетона. Увеличение прочности и жесткости усиленного элемента наращиванием реализуется лишь при совместной работе усиленной конструкции и конструкции усиления.

Совместная работа “старого” и “нового” бетона достигается за счет механического зацепления, устройством насечки или за счет установки дополнительной арматуры, соединяемой приваркой к существующей. Для повышения сцепления “старого” и “нового” бетона могут применяться также композиции на основе эпоксидного, акрилового и других синтетических клеев.

Для обеспечения надежности усиленных железобетонных конструкций необходимо знать режимы нагружения, закономерность изменения прочности и деформативности материалов, процессы трещинообразования и развития трещин при действии малоциклового нагружения.

В тоже время использование более экономичных материалов является приоритетным направлением развития строительства. Уменьшение стоимости строительных конструкций достигается путём экономии средств, строительных материалов и природных ресурсов, поэтому предлагается шире использовать материалы попутной добычи горнодобывающей промышленности для производства строительных конструкций.

Широкое использование отходов горнодобывающей промышленности позволяет обеспечить строительную отрасль надежными и более экономичными материалами и будет способствовать решению важных проблем, таких как: восстановление земельных площадей, которые используются под отвалы; более бережное использование природных ресурсов; стабильность поставки качественных и дешевых заполнителей для бетона.

В Криворожском бассейне налажено производство классифицированных песков из отходов обогащения, применение которых в производстве железобетона экономически оправдано.

**Анализ исследований и публикаций.** Изучению работы усиленных железобетонных конструкций посвятили свои работы Л.В. Афанасьева, А.Я. Барашиков, С.В. Бондаренко, Б.А. Боярчук, А.И. Валовой, Г.В. Гетун, А.Б. Гольшев, А.Ю. Еременко, О.Д. Журавский, П.И. Кривошеев, Е.Ф. Лысенко, Г.А. Молодченко, Л.А. Мурашко, И.П. Новаторский, Р.С. Санжаровский, П.О. Сунак, Г.К. Хайдуков, А.Л. Шагин, В.С. Шмуклер, А. Касасбех, Г.В. Чанг, Л.М. Ли, М.А. Максур и др. [1,2,3].

Исследованием особенностей работы железобетонных конструкций, изготовленных из бетонов на мелких заполнителях – отходах ГОК занимались ГН. Бондаренко, А.И. Валовой, Г.Т. Стороженко, Б.Н. Шевченко и другие [4,5,6,7].

Авторами было проведено исследование состава и свойств отходов горно-обогатительных комбинатов Кривбасса. Проведенные исследования доказали возможность использования в качестве мелкого заполнителя обогащенных отходов ГОК для изготовления бетонных и железобетонных конструкций.

В тоже время на сегодняшний день практически не изучен вопрос усиления таких железобетонных конструкций бетонами на отходах ГОК.

Исследованию работы бетонных и железобетонных элементов при действии малоцикловых нагрузок посвятили свои работы Е.М. Бабич, А.Я. Барашиков, Н.М. Битько, А.И. Валовой, А.В. Войцеховский, А.В. Гергель, А.Б. Григорчук, А.С. Залесов, В.В. Караван, Н.И. Карпенко, А.М. Кокарев и др.

Изучение работы конструктивных элементов из бетона на отходах обогащения железных руд, усиленных в сжатой зоне, при действии переменных нагрузок до настоящего времени не проводилось.

**Постановка задачи.** Перед авторами была поставлена задача изготовления прямоугольных и тавровых железобетонных балок с последующим их усилением наращиванием в сжатой зоне бетоном на отходах обогащения железных руд с использованием различных способов устройства контактного шва с последующим их испытаниями под действием кратковременных и переменных нагрузок.

**Изложение материала и результатов.** Программа проведения эксперимента предусматривает два научных направления.

1. Прочность, трещиностойкость и деформативность усиленных изгибаемых элементов при повторных нагружениях.

Каждое научное направление состоит из двух этапов. Первые этапы каждого направления одинаковы. Вторые отличаются методикой, целью и конечным результатом.

На первом этапе были изготовлены железобетонные балки длиной 2070 мм с поперечным сечением – 220х120 мм в количестве 8 шт и тавровым сечением – размер тавра 210х45 мм, размер основной части балки 120х220 мм в количестве 2 шт. [2]

Схема армирования балок показана на рис. 1.

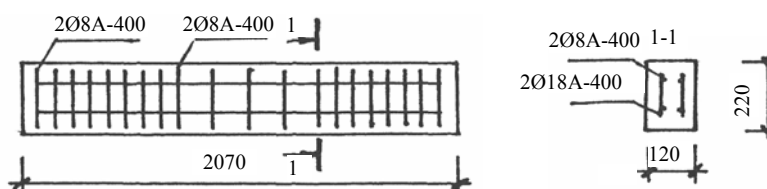


Рис. 1. Схема армирования балок

В растянутой зоне балок предусмотрено два стержня из арматуры класса 2Ø18 А-400, что соответствует проценту армирования  $\mu = 2,12\%$ . Данное армирование принималось из такого расчета, чтобы в нормальных сечениях соблюдалось неравенство  $E > E_R$ , т.е. имитировалась ситуация, когда снижение прочности и деформативных характеристик реально эксплуатируемых балок может произойти за счет снижения прочности сжатой зоны. Арматура сжатой зоны балки была принята из 2Ø8 А-400, а поперечная Ø8 А-400 с шагом 150 мм в зоне чистого изгиба и 80 мм – за её пределами. Армирование полки было выполнено из 2Ø4 Вр-1 которые объединялись в плоский каркас при помощи стержней Вр-1 установленных в поперечном направлении с шагом 150 мм. Данное армирование должно исключить возможность разрушения образцов по наклонным сечениям на всех этапах нагружения.

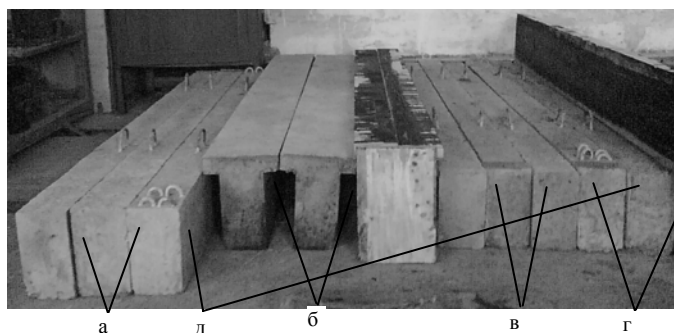
Образцы изготовлены из бетона марки 250 на отходах обогащения железных руд, для которого использовали шлакопортландцемент М400 Криворожского цементного завода, песок из отходов обогащения мокрой магнитной сепарацией железистых кварцитов ОАО Ингулецкого горно-обогатительного комбината с модулем крупности  $M_k - 2,0$  и щебень сухого магнитного обогащения железистых кварцитов ОАО Ингулецкого горно-обогатительного комбината крупности 5-20 мм. Расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси составил: цемента 360 кг, щебня 1420 кг, песка 800 кг, воды 175 л.

Одновременно с образцами балок бетонировались призмы и кубы. Опалубка для балок была выполнена из доски толщиной 45 мм с пристроганной и отшлифованной внутренней поверхностью. Проектное положение арматурных каркасов обеспечивалось с помощью бетонных вкладышей. Перед укладкой бетонной смеси внутренняя поверхность опалубки покрывалась тонким слоем гидрофобной смазки (эмульсия из отработанного машинного масла) для облегчения распалубки образцов.

Бетонная смесь после укладки в формы уплотнялась. Через 3-5 ч после укладки смеси открытая поверхность балок покрывалась влажными опилками, которые 3 раза в сутки подвергались увлажнению.

Согласно программе исследования опытные образцы балок были разделены на пять серий (второго научного направления – четыре серии) (рис. 2), по два образца в серии. Балки первой и второй серии являются контрольными образцами и усилению не подлежат. Все остальные образцы усиливались наращиванием в сжатой зоне слоем бетона на отходах обогащения железных руд, который должен быть на один класс выше, чем класс бетона основной части балок.

Общий вид изготовленных балок показан на рис. 2.



*а – первая серия (прямоугольная) контрольная  
б – вторая серия (тавровая) контрольная  
в, г, д – балки подлежащие усилению наращиванием в сжатой зоне.*

*Рис. 2. Общий вид балок*

На втором этапе эксперимент предусматривает усиление наращиванием в сжатой зоне 6 из 8 балок. При этом изменяется поперечное сечение балок с прямоугольного на тавровое (рис. 3).

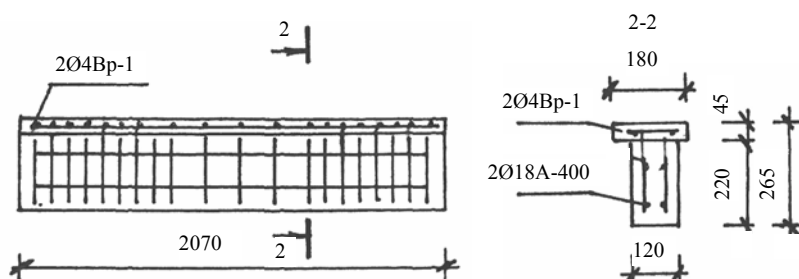


Рис. 3. Схема армирования балок после усиления наращиванием в сжатой зоне

Размеры поперечного сечения полки усиления – 210x45 мм, они принимаются из такого расчета, чтобы гарантировался переход балок из класса перearмированных в класс нормально армированных. При этом процент армирования усиленных балок составит  $\mu = 1,52\%$ . Армирование полки выполнено из 2Ø4 Bp-I, которые объединены в плоский каркас при помощи арматурных стержней Bp-I, установленных в поперечном направлении с шагом 150 мм (рис. 3).

Бетонирование слоя усиления проводится через 28 суток после бетонирования балок бетоном марки 300 с теми же компонентами, что и для усиливаемых балок. Перед укладкой бетонной смеси, контрольные образцы балок первой (прямоугольное сечение) и второй (тавровое сечение) серий будут разрушены для определения разрушающей нагрузки. Далее все остальные образцы балок будут подвергнуты нагрузке, составляющей 0,6 от разрушающей нагрузки для балок первой серии. Этим мы хотим воспроизвести ситуацию частичного разрушения балки вследствие воздействия различных силовых и несиловых факторов, возникающих в процессе эксплуатации конструкций.

Согласно первому научному эксперименту усиление наращиванием проводилось следующим образом – на поверхности балок третьей серии в зоне контакта “старого” и “нового” бетона устраивалось шпоночное соединение (искусственные углубления глубиной 10 мм и более) (рис. 2, в). Для балок четвертой серии использовали клей Ceginol ZH фирмы Dietermann (рис. 2, г). Для балок пятой серии в зоне контакта “старого” и “нового” бетона были предусмотрены вертикальные выпуски из арматуры Ø8A-400, расположенные попарно с шагом 70 мм по краям балки (рис.2, д). Проектное положение арматурного каркаса, слоя усиления обеспечивалось за счет бетонных вкладышей.

Согласно второму научному эксперименту усиление наращиванием проводилось следующим образом – для балок третьей и четвертой серии использовали клей Ceginol ZH фирмы Dietermann.

Цель эксперимента – исследование влияния кратковременных многократно повторных нагружений на прочность, деформативность и трещиностойкость изгибаемых железобетонных элементов.

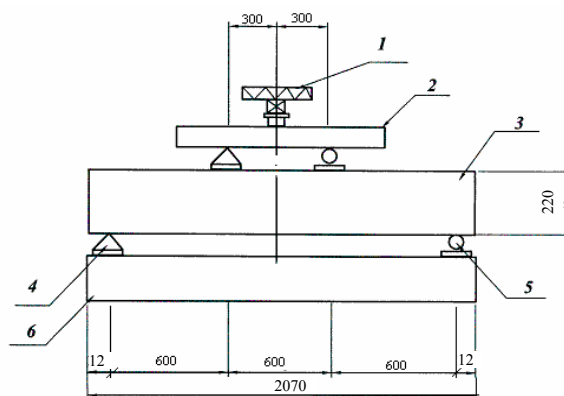
Согласно программе исследования испытание балок проводилось циклическим нагружением двух серий железобетонных балок. Максимальный уровень нагрузки для первой и второй серии балок составил 0,85 и 0,7 от разрушающей нагрузки. Количество циклов для всех балок было принято равным десяти (табл. 1).

**Таблица 1** – Объем и содержание испытаний железобетонных балок второго эксперимента

Наименование серии	Количество образцов	Характеристика циклов	
		Уровень нагрузки	Число циклов
БППЦ-1	2	0,85	10
БППЦ-2	2	0,7	10

Кратковременные и циклические испытания балок проводились на универсальном гидравлическом прессе ПММ-250 по схеме однопролетной свободнолежащей балки, нагруженной двумя сосредоточенными силами в третях пролета (рис. 4).

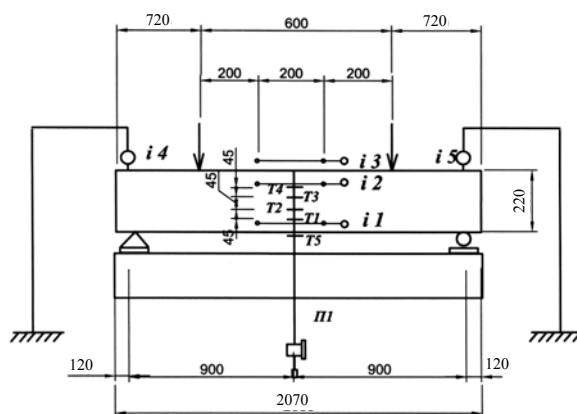
При испытании балок использовали следующие приборы: прогибомер Максимова; индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм для определения деформаций бетона балки и просадки опор балок; микроскоп МПБ-2 с 24 – кратным увеличением и ценой деления 0,05 мм для определения ширины раскрытия нормальных и наклонных трещин; тензорезисторы на базе 50 мм для определения деформаций бетона балки по высоте и определения уровня нагрузок в розтянутой арматуре; ИДЦ – 1 (измеритель деформации цифровой) для фиксации показаний тензодатчиков.



1 – плита траверсы; 2 – траверса; 3 – исследуемая балка; 4 – неподвижная опора; 5 – подвижная опора; 6 – нижняя траверса.

Рис. 4. Схема установки для испытания балок на изгиб

Размещение приборов для измерения деформаций приведено на рис. 5.



*i* – индикатор часового типа; *n* – прогибомер; *t* – тензорезистор.

Рис. 5. Размещение приборов для измерения деформаций

Все опытные образцы во время проведения эксперимента находились в одном помещении и одинаковых условиях.

**Выводы и направление последующих исследований.** На сегодняшний день первый этап выполнен в полном объеме и соответствует программам научных исследований.

В дальнейшем перед нами стоит задача провести испытание балок согласно программе исследований, где необходимо определить прочность, деформативность и трещиностойкость изгибаемых железобетонных балок, усиленных в сжатой зоне, бетоном на отходах ГОК.

## Литература

1. Барашиков А.Я., Подольский Д.М., Сирота М.Д. Надежность восстанавливаемых и усиливаемых конструкций зданий и сооружений. – Черкассы: Фотоприбор, 1993. – 46 с.
2. Усиление несущих железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований / А.Б.Гольшев, П.И.Кривошеев, П.М.Козелецкий и др. – К.: Логос, 2004. – 219 с.
3. Вальной О.І. Еременко О.Ю. Порівняння ефективності варіантів підсилення залізобетонних елементів, що працюють на згин. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, Рівне – 2006, № 14, С. 455-461.
4. Бондаренко Г.Н. Обычные и высокопрочные бетоны на заполнителях из отходов ГОК. – Бетон и железобетон, 1975, № 3, С. 6-8.
5. Вальной А.И. Влияние кратковременных переменных нагрузок на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных элементов из бетонов на отходах обогащения железных руд. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Киев: КИСИ, 1986. – 20 с.
6. Василькова Г.А., Стороженко Г.Т. Бетони на основі відходів гірничо-збагачувальних комбінатів. – Буд. матеріали і конструкції, 1970, № 6, С. 8-9.
7. Шевченко Б.Н. Исследование прочности и деформативности предварительно напряженных железобетонных элементов, изготовленных на мелких заполнителях – отходах горно-обогатительных комбинатов: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Киев: КИСИ, 1980. – 20 с.