

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, ИЗГОТОВЛЕННЫХ И УСИЛЕННЫХ БЕТОНОМ ИЗ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Валовой А.И.

Герб П.И.

Криворожский технический университет

Реализация широкой программы внедрения в строительство новых материалов и технологий требует особого внимания к реконструкции и модернизации зданий и сооружений. В процессе реконструкции выполняют усиление существующих строительных конструкций.

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.

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.

На сегодняшний день использование 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.

Проблемы экономии при производстве сборного железобетона и расход материально-технических ресурсов стоит рассматривать со стороны комплексного использования сырья из отходов переработки руд полезных ископаемых.

Широкое использование отходов горнодобывающей промышленности позволит 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.

Работа усиленных конструктивных элементов из бетона на отходах обогащения железных руд при действии переменных нагрузок досих пор не изучена. В связи с этим перед нами стоит задача исследования напряженно-деформированного состояния конструкции при различных уровнях напряжения, особенно с учётом изменений в процессе эксплуатации.

В связи с вышеизложенным были поставлены задачи: изготовление железобетонных балок с их усилением наращиванием в растянутой зоне бетоном на отходах обогащения железных руд с использованием клея при устройстве контактного шва; исследование балок постоянной и переменной нагрузкой с различными уровнями загрузки.

Объектом испытания являются железобетонные балки длиной 2070 мм с поперечным сечением – 220x120 мм в количестве 12 шт. В растянутой зоне балок заложено два стержня

из арматуры класса 2Ø12 А-500, что соответствует проценту армирования $\mu = 0,94\%$. Данное армирование принимается из такого расчета, чтобы в нормальных сечениях соблюдалось неравенство $\xi \leq \xi_R$, т.е. имитировалась ситуация, когда снижение прочности и деформационных характеристик реально эксплуатируемых балок может произойти за счет снижения прочности растянутой зоны. Арматура сжатой зоны балки принята из 2Ø8 А-500, а поперечная Ø8 А-500 с шагом 180 мм в зоне чистого изгиба и 80 мм – за её пределами. Данное армирование должно исключить возможность разрушения образцов по наклонным сечениям на всех этапах нагружения.

Балки изготавливались из бетона марки 200 на отходах обогащения железных руд. Для этого использовались: шлакопортландцемент М400 Криворожского цементного завода, песок из отходов обогащения мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов с модулем крупности $M_k - 2,0$ и щебень сухого магнитного обогащения железистых кварцитов крупности 5-2 мм ОАО Ингулецкого горно-обогатительного комбината. Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси составил: цемента 360 кг, щебня 1420 кг, песка 800 кг, воды 170 л. Одновременно с образцами балок бетонировались призмы и кубы.

Согласно программе исследований (табл.1) изготовленные балки были поделены на две контрольные серии по три образца и три экспериментальных серии по два в каждой.

Все серии балок, за исключением первой, были предварительно нагружены усилием, которое составило 0,7...0,8 от разрушающей нагрузки. Этим воспроизведена ситуация частичного разрушения балки вследствие воздействия различных силовых и несиловых факторов, возникающих в процессе эксплуатации конструкций. После этого они были разгружены и усилены.

Образцы усиливались наращиванием в растянутой зоне слоем бетона на отходах обогащения железных руд (рис. 1).

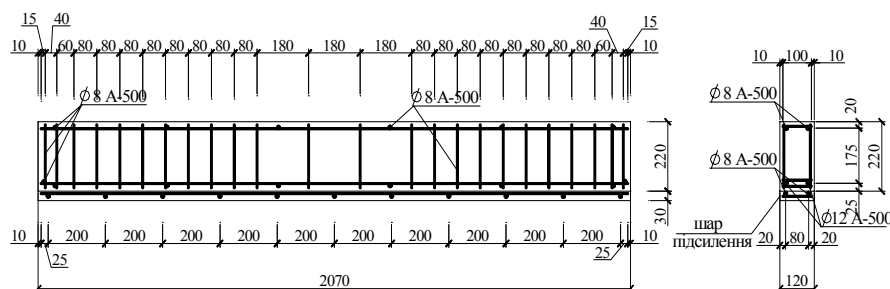


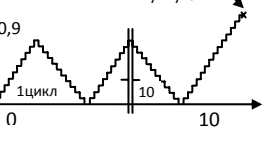


Рис. 1. Схема армирования балок после усиления наращиванием в растянутой зоне

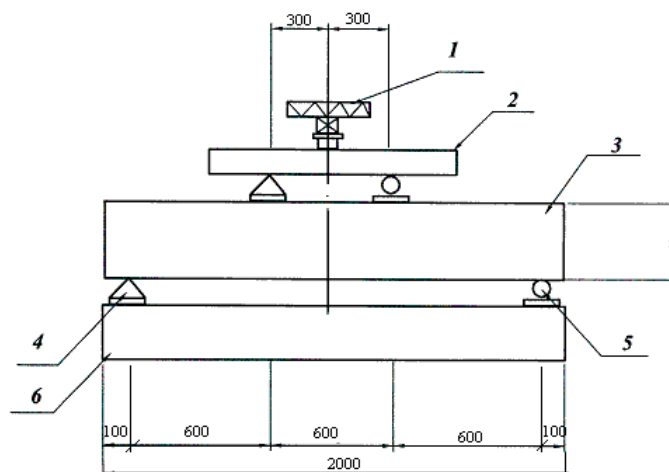
Размеры поперечного сечения полки усиления – 120x30 мм. Она была принята из такого расчета, чтобы гарантировался переход балок из класса недоармированных в класс нормально армированных. При этом процент армирования усиленных балок составит $\mu = 1,16\%$. Армирование полки выполнено из стержней 2Ø8 А-500, которые объединены в плоский каркас при помощи арматурных стержней Вр-I, установленных в поперечном направлении с шагом 200 мм. Наращивание слоя усиления было проведено бетоном марки 250 с теми же компонентами. Соединение «старого» и «нового» бетона проводилось с использованием клея Cerinol ZH фирмы Dietermann.

В первой части эксперимента была поставлена задача испытания балок первой серии БК (контрольная неусиленная) и второй серии БКП (контрольная усиленная).

Таблица 1 – Программа испытаний железобетонных балок

Маркировка балок	Количество образцов, шт.	Характеристика внешнего воздействия	Характеристика циклов		Цель испытаний
			Уровень нагружения	Количество циклов	
1	2	3	4	5	6
БК Первая серия (Контрольная неусиленная)	3	Монотонно-шаговое нагружение до разрушения	0-1,0	-	Определение прочностных характеристик при действии монотонно-шагового нагружения
БКП Вторая серия (Контрольная усиленная)	3	Монотонно-шаговое нагружение до разрушения	0-1,0	-	Определение прочностных характеристик при действии монотонно-шагового нагружения
БПЦ-1 Третья серия	2		0,75	10	Исследование влияния повторяющихся нагружений на прочность, деформативность и трещиностойкость
БПЦ-2 Четвертая серия	2		0,85	10	Исследование влияния повторяющихся нагружений на прочность, деформативность и трещиностойкость
БПЦ-3 Пятая серия	2		0,9	10	Исследование влияния повторяющихся нагружений на прочность, деформативность и трещиностойкость

Испытания балок первых двух серий на данном этапе проводились на универсальном гидравлическом прессе ПММ-250 по схеме однопролетной свободнолежащей балки, нагруженной двумя сосредоточенными силами в третях пролета (рис. 2).

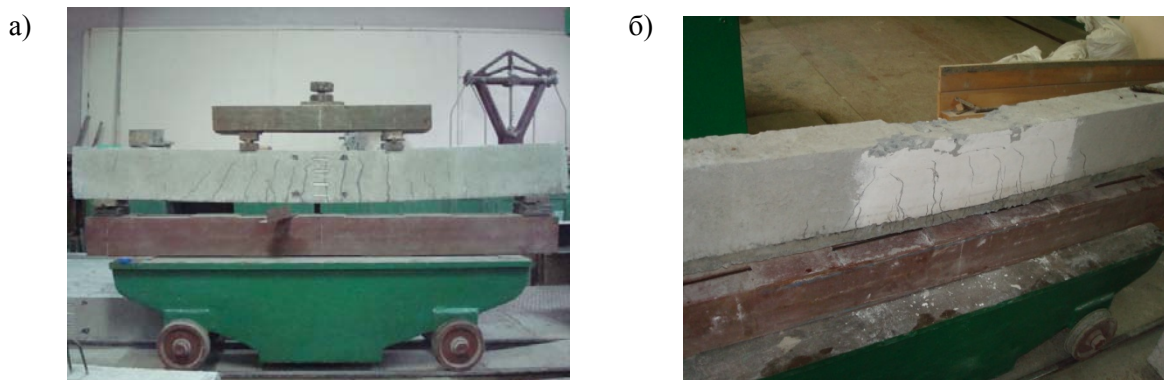


1 – плита траверсы; 2 – траверса; 3 – исследуемая балка; 4 – неподвижная опора; 5 – подвижная опора; 6 – нижняя траверса

Рис. 2. Схема установки для испытания балок на изгиб

Для измерения погибов использовался прогибомер Максимова. Ширину раскрытия нормальных и наклонных трещин определили микроскопом МПБ-2 с 24 – кратным увеличением и ценой деления 0,05 мм.

В результате испытания неусиленные балки БК потеряли несущую способность при достижении граничных напряжений в растянутой арматуре. Усиленные же балки серии БКП разрушились в сжатой зоне с достижением граничных деформаций бетона. Такой форме разрушения оказывала содействие совместная работа балки с полкой усиления (рис. 3).



а) – первой – БК; б) – второй контрольной серии – БКП

Рис. 3. Разрушение балок

Анализируя данные, полученные при испытании, видим, что прочность усиленных балок (БКП) на 47 % больше прочности неусиленных (БК) (табл. 2).

Таблица 2 – Прочностные характеристики балок

Марка балки	Разрушающее усилие P_{ul} , кН	Относительное значение прочности P_{ui}/P_0	Изгибающий момент при разрушении M , кНм
БК	46,5	1	27,9
БКП	68,5	1,47	41,1

Примечание. P_0 – разрушающее усилие балок серии БК; P_{ui} – значение разрушающей нагрузки в трети пролёта балки, $P_{ui} = P_u/2$ (P_u – общая разрушающая нагрузка)

В результате испытания контрольных серий монотонной нагрузкой в балках обеих серий появились нормальные трещины в зоне чистого изгиба, наклонные трещины не образовались. Ширина раскрытия нормальных трещин усиленных балок по отношению к неусиленным увеличилась на 16 %, для уровня загрузки $(0,7-0,8)P_{ul}$, то есть для уровня эксплуатационных нагрузок (табл. 3).

Таблица 3 – Средние значения ширины раскрытия трещин балок

Марка балки	Усилие, кН		Средняя опытная ширина раскрытия трещин a , мм	a_i/a_0	Допустимая ширина раскрытия трещин по нормам $[acrc]$, мм	$a_i/[acrc]$
	разрушающее P_{ul}	определение ширины раскрытия трещин P_i				
БК	46,5	35	0,110	1	0,4	0,275
БКП	68,5	51	0,092	0,84	0,4	0,230

Примечание. a_0 – ширина раскрытия трещин балок серии БК.

При испытании балок первой и второй серии определение прогибов проводилось при уровне нагрузки 0,8 от разрушающей.

Значения прогибов усиленных балок по отношению к неусиленным уменьшились на 8 %.

При этом прогибы как усиленных так и не усиленных серий балок не превышают допустимых (табл. 4).

Таблица 4 – Результаты исследований прогибов балок

Марка балки	Усилие, кН		Средние опытные прогибы f , мм	f_i/f_0	Допустимые прогибы за нормами $[f]$, мм	$f_i/[f]$
	разрушающее P_{ul}	определение прогиба P_i				
БК	46,5	35	6,417	1	9	0,713
БКП	68,5	51	5,900	0,92	9	0,656

Выводы

Определены основные характеристики бетона и арматуры, найдены значения прочности, деформативности и трещиностойкости неусиленных и усиленных контрольных образцов железобетонных балок.

В дальнейшем стоит задача проведения испытания третей, четвертой и пятой серии балок циклическим нагружением (табл. 1).

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.: ил.
3. Валовой 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. Валовой 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.