

## РАБОТА БЕТОННЫХ БАЛОК С ВНЕШНИМ ЛИСТОВЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Наведено результати іспитів чотирьох серій бетонних балок. Експериментальні дослідження були виконані для того, щоб досліджувати спільну роботу бетону і сталеві пластини об'єднані анкерами і клеєм різного типу.

Представлены результаты испытаний четырех серий бетонных балок. Экспериментальные исследования были выполнены для того, чтобы исследовать совместную работу бетона и стальной пластины объединенной анкерами и клеєм разного типа.

The author presents the results of testing four series of concrete beams. The experiential trials were performed in order to study the joint work of concrete core and steel plate, united by the anchors and different types of glue.

В данное время в нашей стране и за границей все большее внимание уделяются исследованиям железобетонных конструкций с внешним армированием. Применение продольной полосовой арматуры позволяет значительно уменьшить строительную высоту балки, которая определяет экономичность решения при проектировании несущих конструкций перекрытий многоэтажных домов и пролетных сооружений мостов, уменьшить высоту сечения балки и снизить расход арматурной стали, увеличить жесткость и несущую способность. Так, экономия стали достигается вследствие выноса листовой арматуры на грань пересечения, отсутствия многорядного расположения арматуры по высоте сечения конструкции.

Однако гладкая полосовая арматура, применяемая в данное время для этой цели, не имеет достаточного сцепления с бетоном. Сцепление бетона с гладкой поверхностью полосовой арматуры не может обеспечить монолитность конструкции даже на первой стадии ее работы. В конструкциях с листовой арматурой механическая связь обеспечивается специальными анкерными устройствами.

Связям-анкерам полосовой арматуры с бетоном по длине контакта предоставляется перво-степенное значение, так как надежная связь – анкерение служит гарантией эксплуатационной пригодности конструкции.

В бетонных балках с внешним армированием связь гладкой полосовой арматуры с бетоном за счет разных типов анкеров является решающей для обеспечения надежности работы конструкции под нагрузкой. Назначение связей: обеспечение монолитности работы такой конструкции, препятствие сдвигу полосовой арматуры относительно бетона и восприятие поперечных сил, действующих по наклонным сечениям.

В данной работе выполнены экспериментальные исследования двух серий балочных образцов с листовым армированием размерами  $0,08 \times 0,15 \times 1,30$  м ( $b \times h \times L$ ). В каждой серии было по шесть образцов. В качестве листовой арматуры использовались стальные полосы размерами  $0,08 \times 0,0015 \times 1,30$  м и  $0,08 \times 0,002 \times 1,30$  м, объединенные с бетонным телом балки для совместной работы: хомутами монтажной арматуры (1-я серия); петлевыми анкерами (2-я серия). Схемы армирования балок представлены на рис. 1, 2.

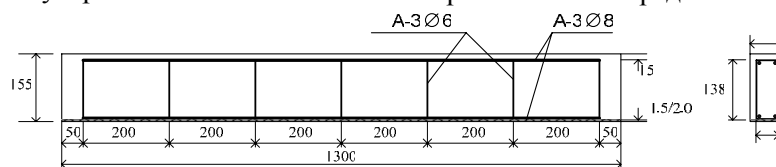


Рис. 1. Схема армирования балок 1-й серии

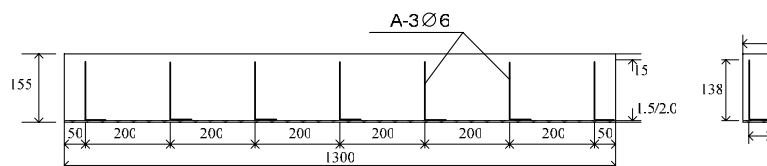


Рис. 2. Схема армирования балок 2-й серии

Целью предпринятых исследований было: определение деформативных характеристик объединения стального листа с бетоном; выявление закономерности распределения усилий, возникающих в плоскости соприкосновения листовой арматуры с бетоном; определение несущей способности и характера предельного состояния.

Работы по изготовлению опытных образцов были выполнены в лаборатории кафедры «Строительная механика и гидравлика» Украинской государственной академии железнодорожного транспорта. Для изготовления бетонной смеси составом по массе 1:1,23:2,9, при водоцементном отношении 0,38...0,4, использовался шлакопортландцемент Балаклейского комбината марки 400, песок Безлюдовского карьера модулем крупности 1...1,4. В качестве крупного заполнителя использовался гранитный щебень марки М-1200 (по прочности) фракции 5...20 мм.

Бетонирование осуществлялось в деревянной опалубке в горизонтальном положении при уплотнении вибрацией. Одновременно для определения деформативных и прочностных свойств бетона, были изготовлены бетонные кубы размерами 0,1×0,1×0,1 м в стандартных формах, по три штуки на каждую партию смеси. Контрольные и опытные образцы выдерживали в естественных условиях до набора ими 100 % прочности.

Нагружение опытных образцов производилось в соответствии со схемой, показанной на рис. 3, двумя сосредоточенными силами на машине ГРМ-1. Нагружение балки осуществлялось ступенями, после каждой из которых измерялись относительные деформации листовой арматуры, сжатого бетона, сдвиги между бетоном и листом. Деформации в стальном листе и бетоне измерялись методом электротензометрии с применением датчиков типа КФ 5П 1-20-100-А-12 с сопротивлением  $99,8 \pm 0,1$  Ом на базе 20 мм. Показания датчиков регистрировались прибором АИД-4. Электротензодатчики на бетон и сталь наклеивались после соответствующей подготовки мест установки. Величины сосредоточенных сдвигов измерялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм. Скорость нагружения в пределах ступени выдерживалась постоянной.

Для оценки влияния сил трения между листом и бетоном, возникающих у опор балки, была испытана вторая балка 1-й серии, в которой листовая арматура не доходила до опор и опирание осуществлялось непосредственно на бетонную часть, как показано на рис. 4, б. Испытание каждой второй балки серий проводилось

для определения несущей способности и выявления характера предельного состояния.

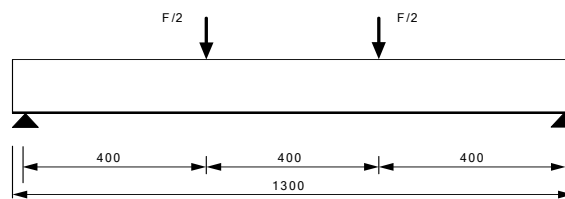


Рис. 3. Схема испытания опытных образцов

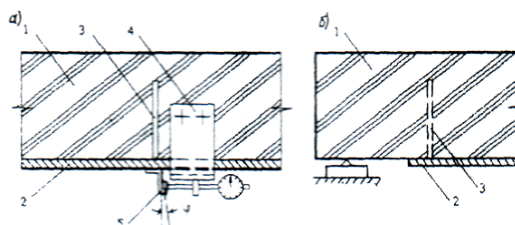


Рис. 4. а – измерение сдвиговых деформаций; б – опирание второй балки 1-й серии; 1 – бетон; 2 – внешняя арматура; 3 – анкер; 4 – скоба; 5 – уголок

В результате проведенных экспериментальных исследований сталебетонных балок получены сведения о деформировании анкеров в виде диаграмм «нагрузка-сдвиг», представленных на рис. 5.

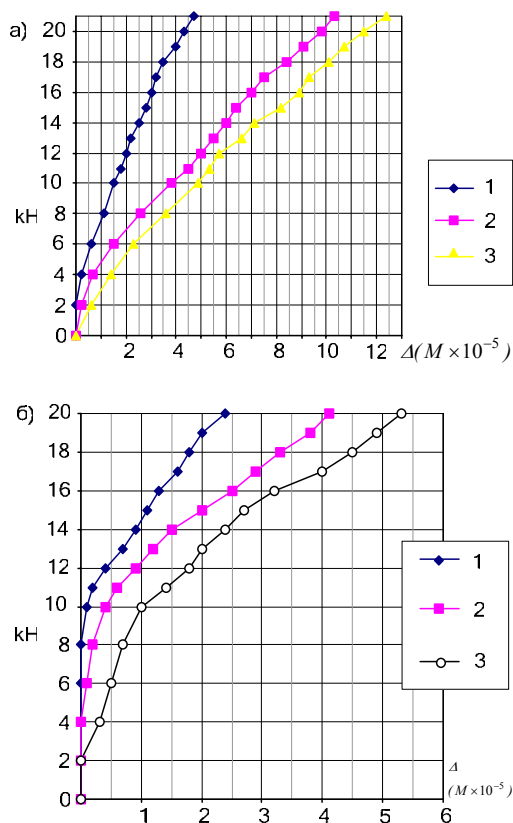


Рис. 5. Диаграммы деформирования анкеров и монтажных хомутов: а – балки 1-й серии; б – балки 2-й серии; 1 – первый анкер от края балки; 2 – второй анкер; 3 – третий анкер

Жесткость петлевых анкеров, т/м

№ балки	Порядковый номер анкера от торца балки			Среднее значение
	№ 1	№ 2	№ 3	
БП 1-1	$6 \cdot 10^3$	$11 \cdot 10^3$	$18 \cdot 10^3$	$11,7 \cdot 10^3$
БП 2-1	$6 \cdot 10^3$	$14 \cdot 10^3$	$11 \cdot 10^3$	$10,3 \cdot 10^3$

Вертикальные и наклонные анкера показали себя достаточно жесткими на сдвиг связями. Максимальные деформации вплоть до разрушения балок не превысили  $2 \cdot 10^{-4}$  м.

В предварительных испытаниях контрольных образцов бетона и стали были определены физические характеристики материалов: средняя прочность бетона при одноосном сжатии  $R = 16$  МПа; модуль упругости листовой арматуры  $E = 200\,000$  МПа; предел текучести при одноосном растяжении  $\sigma = 267$  МПа.

Анализ закономерности распределения и перераспределения усилий (представленных на рис. 6) по контакту внешней арматуры с бетоном свидетельствует о том, что после образования трещин в бетоне стальной лист начинает работать как затяжка, стягивающая берега трещин. По этой причине распределение усилий в объединительном шве отличается от известных в теории составных стержней А. Р. Ржаницина [2] и характеризуется тем, что сначала в работу активно включаются связи сдвига, расположенные непосредственно вблизи трещин, и по мере их деформирования включаются остальные. Разрушение испытанных балок произошло по прочности нормальных сечений.

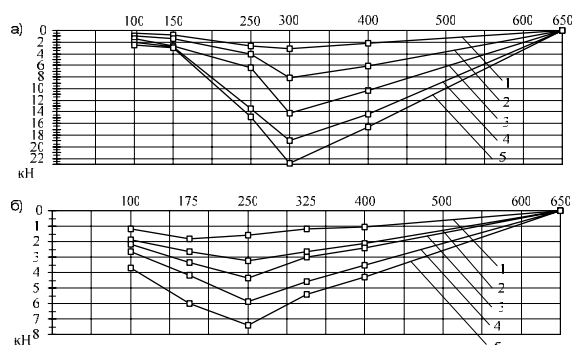


Рис. 6. Распределение сдвигающих усилий:  
 а – балки 1-й серии; б – балки 2-й серии; 1 – при нагрузке 4 кН; 2 – при нагрузке 8 кН; 3 – при нагрузке 12 кН; 4 – при нагрузке 16 кН; 5 – при нагрузке 20 кН

Несущая способность находилась в узких пределах, статистическая обработка позволяет утверждать, что значение предельной нагрузки с вероятностью 0,95 заключено в доверительном интервале 18,8...19,7 кН.

В то же время значения жесткостей, полученные для различных анкеров одной и той же балки (табл. 1), в некоторой степени различаются. Отмеченный факт можно объяснить внецентренным приложением растягивающего усилия к стальному листу, в результате чего последний вместе с уголком 5 (см. рис. 4, а) мог получить незначительное угловое перемещение, искажающее измеренные индикатором величины сдвигов по контакту.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Петлевые вертикальные анкера показали себя достаточно жесткими на сдвиг, связями. Максимальные деформации вплоть до разрушения балок не превысили 0,2 мм; значения экспериментально полученных жесткостей приведены в табл. 1.

2. Влиянием сил трения между бетоном и листом в приопорных участках можно пренебречь, так как они практически не изменяют напряженно-деформированного состояния контакта листа с бетоном и балки в целом.

3. Закон деформирования петлевых наклонных и вертикальных анкеров в условиях сдвига может считаться с некоторым приближением линейным, естественно, до предела его прочности, достижение которого должно считаться одним из критериев предельного состояния конструкции по прочности контакта.

4. Характер разрушения балок с внешним листовым армированием, при достаточной интенсивности объединения армирующего листа с бетоном, не отличается от характера разрушения обычных железобетонных балок.

В настоящее время с появлением и широким применением в строительстве эффективных клеящих средств находят новые конструктивные решения элементов с внешним армированием, в том числе балок и плит с плоской листовой арматурой. Для определения прочностных характеристик клеевых соединений можно воспользоваться результатами исследований М. Н. Кисилиера [3]. В связи с этим готовятся к экспериментальным исследованиям еще две серии образцов, в которых объединение полосовой арматуры с телом балки осуществляется с помощью: эпоксидного клея ЭД-16 (состав: эпоксидная смола ЭД-16 – 100 ч. по массе, пластификатор дибутилфталат – 20 ч. по массе, отвердитель полиэтиленполиамин – 10 ч. по массе) (3-я серия); акрилового клея ЗС-3 (состав: эпоксидная смола ЭД-20 – 100 ч. по массе, КУС – 150 ч. по массе, цемент – 50 ч. по массе, отвердитель УП583 – 25 ч. по массе) (4-я серия). Схема армирования балок 3, 4-й серии представлена на рис. 7.

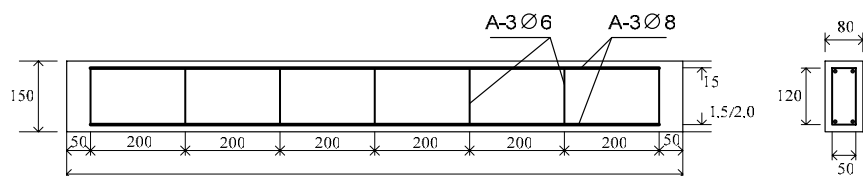


Рис. 7. Схема армирования балок 3, 4-я серии

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чихладзе Э. Д. Экспериментальные исследования сталебетонных балок / Э. Д. Чихладзе, А. Д. Арсланханов // Известия вузов. Строительство. 2000, – № 12. – С. 4–7.
2. Ржаницин А. Р. Составные стержни и пластинки. – М.: Стройиздат, 1986. – С. 316.
3. Кисилиер М. И. Клеевое соединение внешней клеевой арматуры при сдвиге // Бетон и железобетон. – 1977. – № 6 – С. 22–23.

Поступила в редколлегию 04.12.2006.