

УДК 692.231.3

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПО ПРОЧНОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ

асс. Сопильняк А. М., асс. Несин А.А., к.т.н., доц. Шляхов К.В.  
д. т. н., проф. Савицкий Н. В.

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры*

**Введение.** «Умные дома» потихоньку перебираются из разряда недоступной роскоши в ранг удобных инноваций, способных повысить уровень комфорта проживания человека в доме или квартире. Но и обычные квартиры теперь строятся согласно новым правилам и нормативам, потому получают высокотехнологичными и удобными. В связи с этим возникает задача создания энергоэффективных строительных конструкций позволяющих поддерживать условия микроклимата человека с минимальными затратами энергоресурсов. Одним из путей решения этих задач, является применение легких бетонов при изготовлении ограждающих конструкций с улучшенными теплоизоляционными свойствами. Одними их таких конструкций являются многослойные железобетонные стеновые панели. Экспериментальному изучению работы таких конструкций посвящены труды [1-5].

**Цель статьи.** Анализ результатов испытаний опытных трехслойных железобетонных балок с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона на прочность по сечениям нормальным к продольной оси и момент трещинообразования.

**Изложение материала.** По технологии [6] изготовлено четыре серии балочных образцов (рис. 1) длиной 250 см при расчетном пролете 220 см, высотой 30 см и шириной 16 см. Наружные слои выполнены из тяжелого бетона, толщиной 5 см и 7 см, а средний слой - из полистиролбетона, толщиной 18 см. Рабочая и распределительная арматура образцов выполнена из проволоочной арматуры класса Вр-I диаметром 4 мм.

Балочные образцы 1-й и 2-й серий запроектированы из условия разрушения в средней части пролета по сечениям, нормальным к продольной оси, в количестве 2 и 3 штук, соответственно. В балочных образцах 1-й серии установлена поперечная арматура в виде хомутов.

Остальные серии балочных образцов предназначены для изучения прочности наклонных сечений, по 3 штуки в каждой. Образцы этих серий полностью идентичны между собой, а отличие их при проведении экспериментов будет заключаться в пролете среза – расстоянии от опор до сосредоточенной нагрузки:  $h_0$  и  $1,5h_0$  (283 мм и 425 мм).

Для подготовленных балок-образцов был выполнен расчет прочности сечений нормальных к продольной оси и момента образования нормальных трещин по двум методам: приведенных сечений, с использованием основных положений СНиП [8] и деформационному методу ДБН [7].



Рис. 1. Опытные образцы трехслойных балок

А также была определена методика проведения экспериментальных исследований подготовленных балок-образцов. Для их испытания был собран стенд, общий вид которого представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Общий вид стенда для испытания балочных образцов в лабораторных условиях

Схема расположения приборов при испытаниях приведены на рисунке 3.

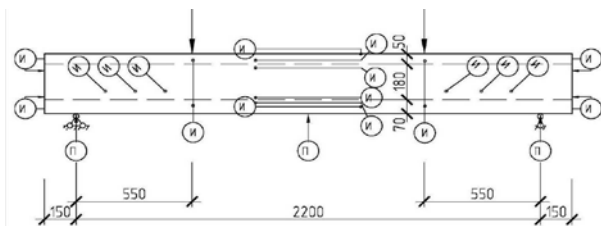


Рис. 3. Схема расстановки приборов на балочных образцах 1-й и 2-й

Для оценки напряженно-деформированного состояния трехслойных балочных образцов с монолитной связью слоев на каждом этапе загрузки в середине их пролета индикаторами измеряли деформации бетона.

В приопорных зонах балок измеряли деформации бетона среднего слоя индикаторами расположенными под углом 45° к продольной оси балок с целью определения деформаций в направлениях главных растягивающих и сжимающих напряжений.

Прогибы трехслойных балок измеряли прогибомерами системы Максимова. Их устанавливали в центре пролета и на опорах для исключения их осадок.

После проведения исследований и получения экспериментальных данных можно было заметить, что средние значения полученных величин изгибающих моментов, при которых образуются трещины, как видно по таблице 1, не значительно отличаются от данных расчетов по деформационному методу (по ДБН). При этом для образцов 1-3 серий различие между теоретическими и средними опытными не превышает 7%. А для 4-й серии 27%.

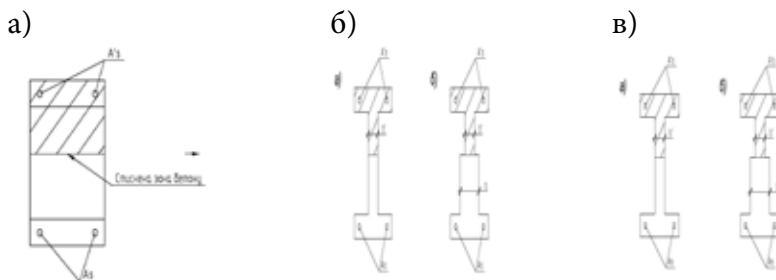
После приведения трехслойного железобетонного сечения к однослойному двутавровому (рис. 4б) исходя из соотношения начальных модулей упругости, получены значения моментов образования трещин больше чем опытные. Для образцов 1-3 серий эти различия достигают 20%, а для 4-й – 43%.

При приведении трехслойного железобетонного сечения к однослойному (рис. 4в) с учетом различных прочностей на растяжение слоев бетона в растянутой зоне и используя методику СНиП, были получены значения моментов образования трещин, которые значительно превышают полученные в опыте. Превышение до 31% для 1-3 серий, и 56% - для 4-й.

Теоретическая оценка полученных экспериментальных результатов показала, что расчет трехслойных железобетонных элементов монолитного сечения по образованию трещин с учетом их особенностей напряженно-деформированного состояния (по деформационному методу) непосредственно перед образование трещин наиболее точно оценивает полученные при испытаниях результаты. Различие между теоретическими и опытными результатами могут быть следствием ряда причин, среди которых недостаточная точность определения момента образования трещин в опытах в зависимости от величины этапа нагружения, погрешность при определении прочности бетона на растяжение, неоднородность характеристик по длине балок и др.

*Таблица 1*  
*Сравнение полученных и расчетных моментов образования трещин*

Серия образцов	Шифр балочных образцов	Прочность бетона МПа	Момент образования трещин, кНм и %									
			Опыт	%	Опыт, среднее значение	%	По ДБН	%	По СНиП схема рис.4.б	%	По СНиП схеме рис.4.в	%
1	Б-1-1	15,5	3,77	87	4,32	100	4,627	107	5,178	120	5,661	131
	Б-1-2		4,88	113								
2	Б-2-1	15,5	4,88	100	4,88	100	4,627	95	5,178	106	5,661	116
	Б-2-2		4,48	92								
	Б-2-3		5,27	108								
3	Б-3-1	17,1	3,90	84	4,63	100	4,686	101	5,254	113	5,741	124
	Б-3-2		4,69	101								
	Б-3-3		5,30	114								
4	Б-4-1	17,1	3,80	103	3,69	100	4,686	127	5,254	143	5,741	156
	Б-4-2		3,43	93								
	Б-4-3		3,84	104								



*Рис. 4. Поперечные сечения трехслойного железобетонного элемента: а – фактическое сечение; б, в – приведенные сечения*

В зоне чистого изгиба по нормальному сечению разрушались балки 1-й и 2-й серий образцов с арматурой класса Вр1 диаметром 4 мм. Процент армирования их составлял 0,06%. Расчетные сопротивление арматуры на растяжение составляет 473 МПа, а временное сопротивление растяжению 572,5 МПа.

При расчете по СНиП с учетом фактических характеристик

материалов оказалось, что граница сжатой зоны проходит в границах верхнего слоя тяжелого бетона. Следовательно, трехслойное сечение равномерно рассчитывать как прямоугольное. При этом теоретические значения разрушающих нагрузок по ДБН оказались на 31-38 % меньше опытных, а по СНИП – 30-37% (табл.2). При учете же в расчете напряжений, равных временному сопротивлению арматуры, теоретические значения разрушающих нагрузок оказались меньше опытных на 16-24 %.

Для остальных серий образцов теоретические значения разрушающих нагрузок по ДБН оказались на 10-31 % меньше опытных, а по СНИП – 21-39%. Учитывая в расчетах напряжения, равные временному сопротивлению арматуры, теоретические значения разрушающих нагрузок для 3-й серии по ДБН оказались меньше опытных на 17%, по СНИП – 15%, а для 4-й серии по ДБН выше опытных на 8%, по СНИП – 10%.

*Таблица 2*  
*Сопоставление экспериментальных результатов и расчетов балочных образцов по прочности нормальных сечений*

Серия образцов	Шифр балочных образцов	Прочность бетона МПа	Изгибающий момент разрушения, кНм и %													
			Опыт		%		Опыт, среднее значение		%		при напряжениях в арматуре					
			кНм	%	кНм	%	по ДБН				по СНИП					
							$f_{yd}$	%	$f_{yk}$	%	$R_s$	%	$R_{sn}$	%		
1	Б-1-1	15,5	4,70	94	5,02	100	3,46	69	4,199	84	3,503	70	4,231	84		
	Б-1-2		5,34	106												
2	Б-2-1	15,5	5,73	103	5,56	100	3,456	62	4,199	76	3,503	63	4,231	76		
	Б-2-2		5,47	98												
	Б-2-3		5,47	98												
3	Б-3-1	17,1	4,35	87	4,98	100	3,462	69	4,158	83	3,054	61	4,236	85		
	Б-3-2		5,15	103												
	Б-3-3		5,45	109												
4	Б-4-1	17,1	3,90	101	3,86	100	3,462	90	4,158	108	3,054	79	4,236	110		
	Б-4-2		3,63	94												
	Б-4-3		4,04	105												

Результатами проведенных исследований установлено, что расчет по прочности нормальных сечений трехслойных железобетонных изгибаемых конструкций с монолитной связью слоев может проводится как для обычных однослойных прямоугольных сечений в том случае, если сжатая зона расположена в пределах одного наружного слоя бетона. Если же в сжатую зону попадает также средний слой из бетона низкой прочности, то расчет производится для

приведенного таврового сечения, переход к которому осуществляется через отношение призмных прочностей бетонов.

**Выводы.** Проанализировав данные теоретических расчетов по двум методам и результаты проведенных исследований видно, что средние значения экспериментальных величин изгибающих моментов, при которых образуются трещины, не значительно отличаются от данных расчетов по деформационному методу (по ДБН), и значительно отличаются от значений моментов трещинообразования полученных при использовании методики СНиП.

Теоретические значения разрушающих нагрузок для исследуемых балок по ДБН и СНиП оказались на 30-38 % меньше опытных. При учете же в расчете напряжений, равных временному сопротивлению арматуры, теоретические значения разрушающих нагрузок оказались меньше опытных на 16-24 %.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Стронгин Н. С. Легкобетонные конструкции крупнопанельных, жилых домов / Н. С. Стронгин, Д. К. Баулин. — М. : Стройиздат, 1984. — 184 с.
2. Dall D. Durisol. Lightweight Precast Concrete / Dall D. Durisol // Paper trade. — 1950. — Vol. 130. — № 23.
3. Эпп А. Я. Ограждающие конструкции безопалубочного формования из керамзитобетона / А. Я. Эпп, Р. В. Сакаев, В. В. Чижевский и др. // Развитие производства и применения легких бетонов и конструкций из них, в том числе с использованием промышленных отходов: тез. докл. III Всесоюзн. конф. По легким бетонам. — М. : Стройиздат, 1985. — С. 65.
4. Вайнтштейн М. З. Двухслойные наружные ограждающие конструкции из легкого бетона, изготавливаемые в один прием формования / М. З. Вайнтштейн // Развитие производства и применения легких бетонов и конструкций из них, в том числе с использованием промышленных отходов: тез. докл. III Всесоюзн. конф. по легким бетонам. — М. : Стройиздат, 1985. — С. 61-62.
5. Король Е. А. Трехслойные ограждающие железобетонные конструкции из легких бетонов и особенности их расчета / Е. А. Король. — М. : АВС, 2001. — 256 с. — (Монография)
6. Король Е. А. Совершенствование технологии изготовления трехслойных стеновых панелей с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона / Е. А. Король, В. В. Полетаев. // Передовой научно-производственный опыт, рекомендуемый для внедрения в строительстве объектов агропромышленного комплекса. Науч.-техн. информ. сб. Вып. — № 19. — М. — 1990. С 4 — 5.
7. ДБН В.2.6-98:2009. «Бетонні та залізобетонні конструкції» К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
8. СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции» М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985.