

Второй вариант модели разрушается по бетону нижнего пояса в зонах приложения сосредоточенных сил, однако после разрушения бетона в нижнем поясе усилия должна воспринимать арматура, этого не происходит. Скорее всего, это связано с некоторыми особенностями данных конечных элементов, которые не были учтены при создании численной модели.

Третий вариант показал наилучшую сходимость с результатами испытания опытных образцов. В данной модели есть возможность учесть, в-первых, реальное распределение усилий в местах приложения сосредоточенных нагрузок, во-вторых, реальную длину расколов, на которой они теряют устойчивость, исключив участки, расположенные в теле бетона. Данную численную модель можно применить для исследования напряженно-деформированного состояния панелей при различных условиях опирания и схемах загрузки, варьируя прочностные и деформативные характеристики материалов и геометрические параметры конструкции.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю.М., Ерофеев В.Т., Митина Е.А. и др. Ограждающие конструкции на основе каркасного керамзитобетона для производственных зданий (структурообразование, технология, расчёт и конструирование): Учебное пособие. М.: Издательство АСВ, 2005. – 200с.
2. Король Е.А. Трёхслойные ограждающие железобетонные конструкции из лёгких бетонов и особенности их расчёта. – М.: АСВ, 2001г. – 255с.
3. Литовченко П.А., Глушаков Н.И., Khachikian K. Применение облегчённых трёхслойных железобетонных панелей для малоэтажного жилищного строительства. Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. научн. трудов. Вып. 43, - Дн-вск, ПГАСА, 2007. – 628с.
4. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. / Справочно-теоретическое пособие под ред. Академика АИИ Украины А.С. Городецкого. – К.-М.: издательство «Факт» – 2003. –464с.
5. Штамм К., Витте Х. Многослойные конструкции. – М.: Стройиздат, 1983г. – 296с.

УДК 624.073.11

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ОБЛЕГЧЁННЫХ ТРЁХСЛОЙНЫХ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ ИЗГИБЕ

к.т.н., доц. Литовченко П.А., асп. Глушаков Н.И.

*Национальная академия природоохранного и курортного строительства,
г.Симферополь*

Современное развитие строительства характеризуется стремлением повысить теплозащиту гражданских и промышленных зданий с целью экономии топливно-энергетических ресурсов и снижения эксплуатационных

расходов на отопление. Решение данной задачи привело к появлению на рынке различных многослойных конструкций [1, 2], в том числе и трехслойных сборно-монолитных железобетонных панелей с гибкими связями между несущими слоями [3], которые представляют собой конструктивный элемент, состоящий из наружных несущих слоёв, выполненных из мелкозернистой бетонной смеси и среднего слоя утеплителя (пенополистирол) (рис.1). Совместная работа наружных несущих слоёв обеспечивается стальными каркасами с наклонным расположением поперечных стержней, выполненными из арматурной проволоки.

Несмотря на то, что в последние годы изучению работы многослойных конструкций учёными уделяется всё больше внимание, до сих пор нет единой нормированной методики их расчёта, не выявлен механизм реализации предельных состояний, а так же влияние различных факторов на несущую способность панелей.

Целью данной работы является на основе численного моделирования изучить поведение указанных панелей под нагрузкой и определить влияние основных конструктивных параметров на несущую способность конструкции.

Численная модель создана в ПК ЛИРА [4]. При создании модели для верхнего и нижнего слоев панели приняты конечные элементы, позволяющие учесть наличие арматуры в бетоне и нелинейную работу бетона и арматуры, а для наклонных стержней арматурных каркасов – элементы, позволяющие учесть не только физическую нелинейность материала, но и геометрическую нелинейность моделируемых элементов. Верификация модели проведена сопоставлением результатов расчета численной модели с результатами испытания образцов натуральных размеров. При этом отклонение по разрушающей нагрузке находилось в пределах точности ее измерения в эксперименте, отклонение по прогибам составило 14,3% (1 мм) при полном совпадении физической последовательности схемы разрушения.

При численном моделировании была принята изгибаемая панель с жестким защемлением на опорах, имитирующим сопряжение перекрытия с монолитными поясами, нагруженная распределенной нагрузкой (рис.2). Шаг (с) каркасов принят 150 мм, толщина (t) - верхнего и нижнего наружных слоев – 40 мм, диаметр проволоки арматурных каркасов – 5 мм, угол наклона поперечных стержней - 45° (рис.1). Прочностные и деформативные характеристики элементов численной модели приняли такие же, как у опытных образцов. Их определили путём испытаний вспомогательных образцов на сжатие (бетонные кубы, призмы) и растяжение (отрезки арматурной проволоки) согласно действующим стандартам.

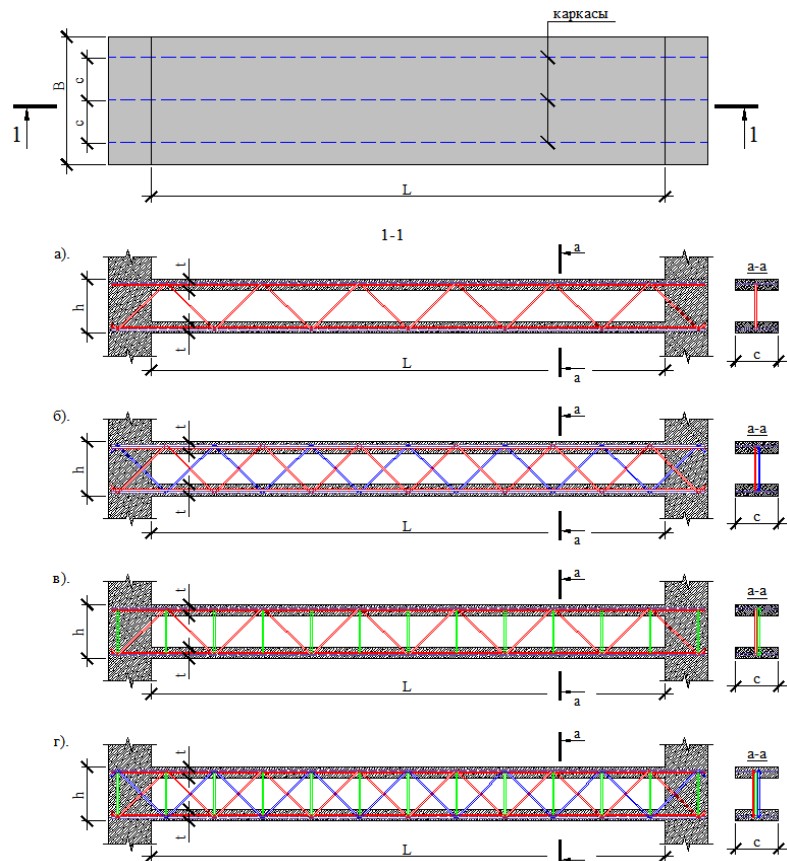


Рис.1. Конструктивная схема панели

а – с одиночными каркасами, б – с двойными каркасами (тип 1), в – с двойными каркасами (тип 2), г – с тройными каркасами.

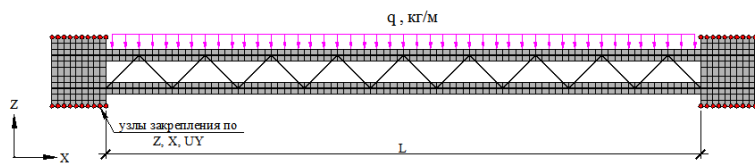


Рис.2. Схема приложения нагрузки к численным моделям

При изучении поведения трёхслойных сборно-монолитных железобетонных панелей под нагрузкой варьировали следующие параметры: количество рядом устанавливаемых каркасов, высоту панелей, прочность

бетона (класс бетона), расчетный пролет панелей и определяли их влияние на несущую способность, деформативность и характер разрушения панелей.

Проведенные на численных моделях исследования показали (см.табл.1), что для панелей с одиночными каркасами и панелей с двойными каркасами (тип 2) разрушение, при всех параметрах варьируемых факторов, происходит от потери устойчивости раскосов. Для панелей с двойными каркасами (тип 1) и панелей с тройными каркасами разрушение, при расчетном пролете до 4 м включительно, происходит от потери устойчивости сжатых раскосов, а при пролете свыше 4 м от дробления бетона сжатой зоны на опоре. Изменение характера разрушения объясняется тем, что с увеличением пролета существенно возрастает прогиб панелей. А из-за абсолютно жесткого закрепления панелей на опорах возникают распорные усилия, которые концентрируются в нижних поясах, и накладываются на усилия, возникающие от действия изгибающих моментов.

Следует отметить, что с увеличением высоты сечения панелей сжатые раскосы теряют устойчивость при меньших значениях нагрузок (см.табл.2). Данный эффект выявили используя в численной модели для раскосов конечные элементы с физической и геометрической нелинейностью. Он объясняется тем, что с увеличением высоты возрастает гибкость сжатых раскосов и в большей степени сказывается увеличение эксцентриситета, вызванное взаимным смещением верхнего и нижнего поясов панели при изгибе, приложения сжимающих усилий к раскосам.

Потеря устойчивости раскосов происходит всегда в опорных частях панели, в зонах действия наибольших поперечных сил. При этом процент использования прочностных характеристик верхнего и нижнего поясов составляет около 50%. Это говорит о том, что в данном случае элементы конструкции не равнонадёжны. Поэтому в данное конструктивное решение панелей рекомендуем внести изменения, повышающие несущую способность опорных и процент использования прочностных параметров верхних и нижних железобетонных слоёв панели.

Увеличение прочности бетона в панелях, разрушение которых происходит от потери устойчивости раскосов, увеличивает несущую способность незначительно, около 1-2%. Поэтому увеличение прочности бетона в данном случае экономически не целесообразно. В панелях, разрушение которых происходит по сжатому бетону опорных участков, увеличение прочности бетона на одну ступень соответственно увеличивает несущую способность панелей до 20%.

Снижение полезной разрушающей нагрузки и увеличение прогибов с увеличением расчетного пролета панелей является закономерным, так как увеличиваются поперечная сила и изгибающий момент. Также закономерным является увеличение несущей способности панелей и уменьшение прогибов при увеличении числа рядом устанавливаемых каркасов (см.табл.1), так как это приводит к повышению жесткости связи между верхним и нижним

Таблица 1
ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛЬНОЙ РАЗРУШАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ И ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ ОТ ИХ ДЛИНЫ

№ п/п	Типы панелей	Эскиз	Высота панелей H (см)	Класс бетона	Разрушающая нагрузка (кг/м.кв.) в характер разрушения элементов при пролётах					
					L = 2 м	L = 3 м	L = 4 м	L = 5 м	L = 6 м	
1	Панель с односторонним каркасом		15	B15	3290 (5.2)	2333 (11.2)	1810 (21.3)	1466 (4.2)	1466 (4.2)	
					B20	3265 (4.7)	2333 (9.5)	1866 (18.4)	1466 (3.2)	1466 (3.2)
					B15	2200 (2.8)	1333 (4.5)	1200 (7.4)	933 (11.2)	933 (11.2)
					B10	2065 (2.7)	1333 (4.1)	1200 (6.6)	933 (9.7)	933 (9.7)
2	Панель с двойным каркасом (тип-1)		15	B15	5933 (8.6)	4200 (20)	2800 (34.8)	1866 (47.9)	1866 (47.9)	
					B20	6133 (7.6)	4400 (17.2)	3266 (34.7)	2266 (50)	2266 (50)
					B15	4000 (3.5)	2666 (6.4)	2200 (11)	1733 (17.5)	1733 (17.5)
					B10	4066 (3.2)	2933 (5.8)	2266 (9.9)	1800 (13.6)	1800 (13.6)
3	Панель с двойным каркасом (тип-2)		15	B15	3800 (6.0)	2665 (11.9)	2066 (22.4)	1665 (41.7)	1665 (41.7)	
					B20	3866 (5.4)	2733 (10.6)	2133 (19.6)	1733 (34.8)	1733 (34.8)
					B15	2533 (3.1)	1880 (5.1)	1333 (7.7)	1066 (11.8)	1066 (11.8)
					B10	2665 (3.0)	1866 (4.8)	1400 (7.3)	1066 (10.4)	1066 (10.4)
4	Панель с тройным каркасом		15	B15	10933 (3.2)	6933 (9.6)	4933 (22.8)	3000 (32)	3000 (43.8)	
					B20	11266 (3.3)	7066 (8.5)	5200 (19.6)	3600 (34.8)	3400 (46.9)
					B15	7466 (2.1)	4600 (3.9)	3333 (7.1)	2533 (11.9)	2066 (19.6)
					B10	7665 (2.0)	4665 (3.6)	3400 (6.5)	2600 (10.8)	2133 (17.5)

Примечания:
 1. Характер разрушения образца:
 ■ - потеря устойчивости сжатия раскосов;
 ▲ - разрушение бетона от сжатия в опорной зоне
 2. В скобках указан прогиб в пролёте в момент разрушения, мм.

несущими слоями панели, что повышает и жёсткость панели в целом. Следует подчеркнуть, что существует два варианта установки двойных каркасов, тип 1 в котором оба каркаса имеют наклонную решётку и тип 2 в котором один каркас имеет наклонную решётку, а второй каркас – вертикальную (см.рис.1). По результатам исследования видно, что гораздо эффективнее устанавливать двойные каркасы имеющие наклонную решётку (тип 1).

Таблица 2

Зависимость предельной разрушающей нагрузки и характера разрушения трёхслойных панелей от их высоты, при постоянной длине

№ п/п	Типы панелей		Высота панелей – H, см	Класс бетона	Нагрузка (кг/м.кв.) и характер разрушения	
	Наименование	Эскиз			L = 2 м	
1	Панель с односторонним каркасом		10	B15	6933 (5.8)	■
			11		6065 (3.9)	■
			12		5800 (3.2)	■
			13		5600 (2.8)	■
			14		5400 (2.5)	■
			15		5333 (2.4)	■
			16		5133 (2.3)	■
			17		4933 (2.1)	■
			18		4665 (1.9)	■
			19		4333 (1.7)	■
			20		3733 (1.7)	■

Примечания:

- Характер разрушения образца:
 ■ - потеря устойчивости раскосов подверженных сжатию;
 2. В скобках указан прогиб в пролёте в момент разрушения, мм.

На основании проведённых исследований можно сделать ряд выводов:

1. Характер разрушения панелей рассмотренного конструктивного решения определяется работой дискретных связей между верхним и нижним несущими железобетонными слоями. При этом механизм разрушения панели может быть реализован в виде потери устойчивости сжатыми раскосами или дробления бетона нижнего слоя на опорах.

2. Для рассмотренных параметров панелей отдельные ее элементы не являются равнонадежными в составе всей конструкции. Прочностные характеристики несущих поясов используются до 50%.

3. Увеличение высоты панелей отрицательно влияет на их несущую способность, поскольку увеличивается гибкость раскосов и возрастает вероятность отказа из-за потери устойчивости.

4. Увеличение прочности бетона целесообразно лишь в случаях, когда разрушение панели происходит по сжатому бетону опорных зон.

5. Необходимо изучить влияние гибкости раскосов на несущую способность панелей и разработать конструктивные меры по дополнительному усилению опорных зон.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю.М., Ерофеев В.Т., Митина Е.А. и др. Ограждающие конструкции на основе каркасного керамзитобетона для производственных зданий (структурообразование, технология, расчёт и проектирование): Учебное пособие. М.: Издательство АСВ, 2005. – 200с.
2. Король Е.А. Трёхслойные ограждающие железобетонные конструкции из лёгких бетонов и особенности их расчёта. – М.: АСВ, 2001г. – 255с.
3. Литовченко П.А., Глушаков Н.И., Khachikian K. Применение облегчённых трёхслойных железобетонных панелей для малоэтажного жилищного строительства. Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. научн. трудов. Вып. 43, - Дн-вск, ПГАСА, 2007. – 628с.
4. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. / Справочно-теоретическое пособие под ред. Академика АИН Украины А.С. Городецкого. – К.-М.: издательство «Факт» – 2003. –464с.
5. Штамм К., Витте Х. Многослойные конструкции. – М.: Стройиздат, 1983г. – 296с.

УДК: 666.9: 691.511: 691.316

**СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА
ОСНОВЕ ИЗВЕСТИ КАРБОНИЗАЦИОННОГО ТВЕРДЕНИЯ
аспирантка Локтионова Т.А.**

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Изучение и обобщение закономерностей, лежащих в основе формирования структуры и свойств искусственных конгломератов [1], являются основной задачей для разработки методов оптимизации параметров технологических процессов и проектирования материалов с заданными качественными показателями. Структурообразование строительных материалов на основе извести карбонизационного твердения является сложным комплексным процессом, обусловленным взаимодействием и взаимным влиянием частиц реагирующих веществ, а также совокупностью внешних условий – давления, влажности и др.

Общие итоги предыдущих исследований карбонизации известковых материалов [2] показывают следующее:

- реакция карбонизации – гетерогенная, в ней участвуют твердая, жидкая и газообразная составляющие;
- реакция проходит в жидкой фазе, т.е. углекислый газ и твердый гидрат должны быть растворены в воде для осуществления реакции;
- скорость и глубина прохождения реакции зависят от количества жидкости в твердеющей массе, т.к. при недостатке воды реакция пройдет не в полном объеме, а при избытке межчастичные пространства и поры будут заполнены жидкостью, препятствуя диффузии углекислого газа внутри материала.

В основе контактного формования изделий из порошкообразного сырья, основанного на контактно-конденсационной теории твердения, разработанной профессорами Глуховским В.Д. и Руновой Р.Ф. [3], лежит явление

образования из дисперсной системы камнеподобного тела без изменения химического состава, агрегатного состояния и воздействия тепловой энергии. Основу теории составляет идея о том, что дисперсное вещество любого уровня неустойчивости обладает конденсационной способностью, снижающейся по мере уменьшения его свободной энергии, что приводит к укрупнению частиц вещества. Как указывал Ребиндер П.А. [4] для возникновения кристаллизационных контактов необходимо сочетание определенного пересыщения в окружающей среде и механических усилий, удерживающих кристаллы в определенном фиксированном относительно друг друга положении. Такие усилия могут быть либо следствием давления, приложенного извне, либо давления, развиваемого в процессе направленного роста кристаллов, растущих внутри уже сформировавшейся кристаллизационной сетки. Т.е., начальное контактное формование способствует возникновению прочностных свойств развивающейся структуры камня, благодаря срастанию кристалликов относительно устойчивого гидрата.

Процесс гидратации и развития структуры твердения таких вяжущих, как цемент и гипс, сводится к растворению в воде первичной твердой дисперсной фазы вяжущего вещества с образованием раствора, пересыщенного по отношению к кристаллам гидратного новообразования и выкристаллизовыванию из этого раствора новой фазы кристаллического гидрата с образованием пространственной структуры твердения, т.е. искусственного камня. В противоположность этим вяжущим, соединения которых при твердении переходят от низшей степени гидратации к высшей, известь характеризуется переходом более гидратированных соединений в менее гидратированные. Поэтому для карбонизации извести необходимо постоянное удаление выделяющейся воды из твердеющей системы.

Физико-химические превращения, происходящие в искусственно карбонизируемой извести, являются определяющими в структуре будущего камня. Поэтому, целью настоящей работы являлось исследование фазовых превращений в известковом материале при взаимодействии с углекислым газом в процессе карбонизации.

Определение состава новообразований и детальное изучение структуры материала произведено с помощью методов химического анализа и электронной микроскопии.

Для изготовления искусственных каменных материалов, был предложен метод контактно-карбонизационного твердения карбонатных материалов на основе известковых систем. Общая схема испытаний состояла в следующем: готовилась смесь на чистой извести, которая увлажнялась в пределе 15 – 25 %, формовалась при давлении от 10 до 20 МПа и поступала в камеру карбонизации, где карбонизировалась в среде 100 %-ной CO_2 в течение различного времени. В результате были получены образцы материала обладающего прочностью 12 – 18 МПа, плотностью 1,4 – 1,6 кг/см³, коэффициентом размягчения 0,7 – 0,8 [5].

Продукты карбонизации извести изучали с помощью химического анализа и электронной сканирующей микроскопии. Химический анализ проводили методом кислотно-основного титрования, используя два индикатора – фенолфталеин и метиловый оранжевый [6]. Электронную сканирующую микроскопию выполняли на микроскопе PEMMA-102-02, SELMI.