

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 теплосащиту 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 слоёв 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 слоёв – 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.

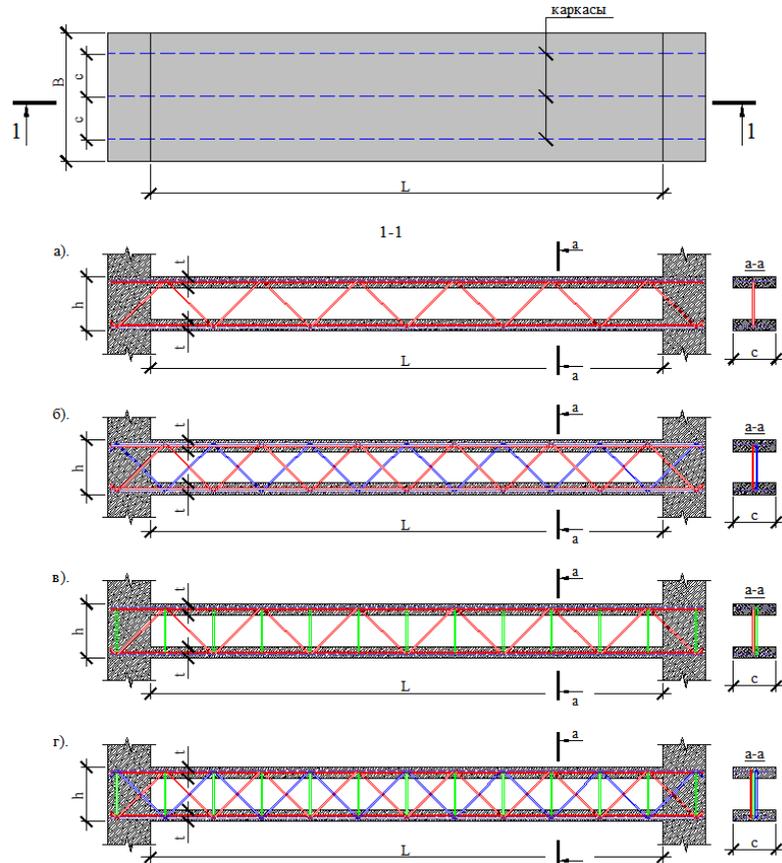


Рис.1. Конструктивная схема панели

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

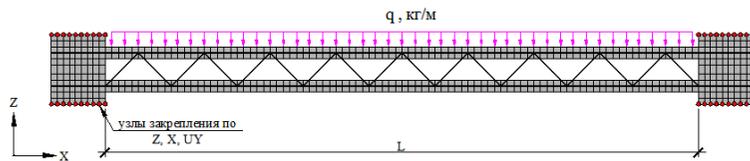


Рис.2. Схема приложения нагрузки к численным моделям

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 | 3333 (2.4) | 3290 (5.2) | 2333 (11.2) | 1890 (21.3) | 1466 (4.2) |
| | | | | | B20 | 5466 (2.2) | 3265 (4.7) | 2333 (9.5) | 1866 (18.4) |
| 2 | Панель с двойным каркасом (тип-1) | | 20 | B15 | 3733 (1.7) | 2200 (2.8) | 1333 (4.5) | 1200 (7.4) | 933 (11.2) |
| | | | | | B20 | 3800 (1.6) | 2265 (2.7) | 1333 (4.1) | 1200 (6.6) |
| 3 | Панель с двойным каркасом (тип-2) | | 15 | B15 | 9466 (3.2) | 5933 (8.6) | 4200 (20) | 2800 (34.8) | 1866 (47.9) |
| | | | | | B20 | 9733 (2.9) | 6133 (7.6) | 4400 (17.2) | 3266 (34.7) |
| 4 | Панель с тройным каркасом | | 20 | B15 | 6466 (1.8) | 4000 (3.5) | 2866 (6.4) | 2200 (11) | 1733 (17.5) |
| | | | | | B20 | 6600 (1.7) | 4066 (3.2) | 2933 (5.8) | 2266 (9.9) |
| | | | 15 | B15 | 6533 (2.8) | 3800 (6.0) | 2665 (11.9) | 2066 (22.4) | 1665 (41.7) |
| | | | | | B20 | 6666 (2.6) | 3886 (5.4) | 2733 (10.6) | 2133 (19.6) |
| | | | 20 | B15 | 4333 (1.9) | 2533 (3.1) | 1880 (5.1) | 1333 (7.7) | 1066 (11.8) |
| | | | | | B20 | 4533 (1.9) | 2665 (3.0) | 1866 (4.8) | 1400 (7.3) |
| | | | 15 | B15 | 10933 (3.5) | 6933 (9.6) | 4933 (22.8) | 3000 (52) | 2000 (43.8) |
| | | | | | B20 | 11266 (3.3) | 7066 (8.5) | 5200 (19.6) | 3600 (34.8) |
| | | | 20 | B15 | 7466 (2.1) | 4600 (3.9) | 3333 (7.1) | 2533 (11.9) | 2066 (19.6) |
| | | | | | B20 | 7665 (2.0) | 4665 (3.6) | 3400 (6.5) | 2600 (10.8) |

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;
- 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 формирования 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 нестабильности 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.