

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.012.454

СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ МЕЛКОШТУЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

канд. техн. наук А.А. ХОТЬКО, канд. техн. наук А.М. ИВАНЕНКО, В.В. ГРИНЁВ
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрены вопросы использования мелкоштучных материалов для строительства зданий и сооружений, снижения ресурсоемкости строительного процесса за счет использования современных строительных материалов, конструктивных схем. Исследована возможность строительства зданий и сооружений с использованием эффективных местных материалов. Показано, что, используя современные материалы и конструкционные решения, возможно строительство малоэтажных зданий с минимальным использованием машин и механизмов. При проектировании несущих комплексных конструкций необходимо учитывать совместную работу кладки, бетона заполнения и арматуры, уделяя большое внимание анкеровке арматурных изделий. За счет небольшой массы мелкоштучных элементов возможно снижение расходов на использование грузозахватных приспособлений и в целом снижение стоимости строительства.

Введение. В настоящее время большое внимание уделяется развитию малых городов и населенных пунктов. При этом важной задачей является обеспечение жильем всех желающих. Для небольших населенных пунктов возможно строительство индивидуальных домов до двух этажей, в том числе силами индивидуальных застройщиков. Большие затраты при строительстве связаны с использованием грузоподъемных механизмов для укладки плит перекрытия, установки стеновых панелей и т.п. Снижение машиноемкости возможно за счет использования мелкоштучных изделий – кирпича, камней, блоков для стен и монолитных конструкций типа «Дах» для перекрытия.

При строительстве стоимость стен колеблется от 30 – 50 % стоимости всего здания. Уже несколько тысячелетий для устройства стен используются мелкоштучные элементы (кирпичи, камни, блоки). При этом важное значение имеют эксплуатационные и конструкционные свойства данных изделий. Керамические стеновые изделия являются традиционным строительным материалом, проверенным временем. К основным достоинствам стеновой керамики следует отнести архитектурную выразительность построенных зданий, благоприятный микроклимат помещений, доступность сырья для ее производства. Недостатками материала считаются большой вес и низкие теплозащитные характеристики. Перед производителями стеновой керамики Республики Беларусь стоит задача повышения качества, расширения номенклатуры, снижения себестоимости выпускаемой продукции [1].

Исследование мелкоштучных материалов и конструкций из них. Большинство технологических схем производства грубой керамики для улучшения качественных характеристик изделий были ориентированы на использование добавки угля [2 – 4], которая в настоящее время должна импортироваться из-за пределов Республики Беларусь. Вопрос замены выгорающей добавки угля на другую, на основе местного сырья, является в настоящее время актуальным при изготовлении керамических изделий. При этом приоритет должен быть отдан поиску выгорающей добавки, которая позволяет улучшить теплозащитные свойства изделий за счет создания пористой структуры.

На кафедре строительного производства УО «ПГУ» ведутся работы по изучению свойств керамических масс с использованием добавок на основе торфа. В республике площади промышленных залежей торфа более 1,615 млн. га, а общий запас торфа составляет 5402,3 млн. т [5].

Работа выполнялась с ориентацией на сырьевые материалы и классическую технологию получения керамических изделий методом пластического формования, применяемые на Обольском керамическом заводе. Три технологические линии по изготовлению стеновой керамики завода укомплектованы оборудованием Могилевского завода «Строймашина». Для исследований использовалась глина месторождения «Заполье».

Введение в состав керамической шихты выгорающих добавок влияет на тепловой баланс обжига. Для исследования процессов, происходящих при обжиге керамических масс, использован метод дифференциально-термического анализа. Изучались следующие составы: глина; глина с добавкой торфа 5,6 %; глина с комплексной добавкой торфа 9,6 % и мазута 5,5 %.

Характер кривых ДТА* позволяет выполнить анализ процессов, происходящих при обжиге изучаемых составов. Известно, что в процессе обжига глины в интервале температур 100 – 300 °С происходит выделение межслоевой молекулярной воды. При дальнейшем увеличении температуры (300 – 650 °С) выделяется конституционная вода и происходит частичная перестройка структуры, аморфизация глинистого вещества. В интервале 750 – 850 °С удаляется оставшаяся химически связанная вода и полностью разрушается структура. Повышение температуры более 850 °С приводит к формированию новых кристаллических фаз из аморфных продуктов разрушения глинистых минералов.

Введение добавки торфа приводит к появлению экзоэффекта в интервале температур 200 – 500 °С, связанного с горением торфа (интервал температур определен по дифференциальной кривой изменения массы исследуемого образца). При сравнении кривых ДТА чистой глины и керамической массы с добавкой торфа можно сделать вывод, что «разогрев» керамической массы сохраняется до 650 °С.

При сравнении кривых ДТА чистой глины и глины с комплексной добавкой торфа и мазута. Горение органической части керамической массы происходит в два этапа – в интервале температур 200 – 500 °С и 500 – 850 °С. Первый этап характеризуется выгоранием торфа и легких фракций мазута. Второй этап связан с процессами, происходящими при нагревании мазута. При температуре 400 – 500 °С образуется так называемое «застывшее» вещество, из которого в интервале 600 – 850 °С происходит газовыделение и горение газообразных продуктов разложения углеводов. Эффект разогрева керамической массы при использовании комплексной добавки сохраняется до 920 °С.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что добавки на основе торфа и мазута позволяют увеличить скорость подъема температуры при обжиге в туннельной печи, снизить негативное влияние перепада температур по сечению канала печи и в результате повысить качество выпускаемой продукции.

На Обольском керамическом заводе выпущены опытные партии керамических камней в объеме 100 тыс. шт. с применением выгорающих добавок торфа и мазута. Использованы пустотообразователи на 24 и 33 %, керамические камни имели прочность М 75-М 125 и плотность менее 1000 кг/м³.

Выпуск опытных партий показал, что при введении добавки торфа в пределах 2 – 5 % снижается плотность изделий на 5 – 7 %, при этом изделия имеют марку по прочности на сжатие 100 – 125 (аналогичные выпускаемые заводом бездобавочные изделия имели марку 100) и марку по морозостойкости F15. При этом на 10 % снизилось водопоглощение, что можно объяснить более полным прохождением процесса спекания керамической массы. Использование комплексной добавки торфа и мазута позволило снизить плотность на 28,5 % (с 1400 до 1000 кг/м³) при марке изделий по прочности 75 и марке по морозостойкости F15. Основной экономический эффект использования комплексной выгорающей добавки связан со снижением теплопроводности с 0,64Вт/(м·°С) до 0,52Вт/(м·°С), что соответствует теоретической возможности при возведении зданий снижения до 20 % расхода стенового материала. Себестоимость новой продукции по результатам выпуска опытных партий в зависимости от вида и марки получаемых изделий снижается в пределах 5 – 20 %.

Разработанные выгорающие добавки торфа и мазута позволяют, как было показано выше, повысить теплозащитные свойства и морозостойкость стеновых керамических материалов. При этом плотность может быть снижена с 1850 до 1150 кг/м³. В соответствии с СТБ 1160-99 пустотность керамических изделий может составлять до 45 %. Следовательно, возможно комплексное снижение плотности керамических изделий до 650 кг/м³. По сравнению с выпускаемым полнотелым кирпичом это обеспечивает снижение почти в 3 раза веса стенового материала и аналогичное уменьшение расхода глины. В результате будет достигнуто значительное снижение расхода топлива на обжиг, а в целом – обеспечено резкое снижение себестоимости стеновой керамики.

Снижение плотности стеновых керамических изделий приводит также к снижению их прочности, и повышению теплозащитных свойств конструкций, возведенных из данных материалов. Таким образом, при значительном снижении плотности их можно использовать только для самонесущих стен или как теплоизолирующий слой. Для малоэтажного строительства в качестве несущего каркаса возможно использование армокаменных конструкций на основе бетонных камней.

Конструкции несущего каркаса из мелких стеновых материалов. По анализу развития строительного комплекса развитых европейских стран можно наблюдать, что в качестве стенового материала все чаще используется бетонный камень. Кладка из бетонных камней зародилась в США в XIX веке, где изготавливались большие и тяжелые цельные камни путем формования смеси извести и увлажненного песка с последующей просушкой их паром. В 1866 году была разработана технология формования пустотелых камней, в США был получен патент на долговечную и практичную машину из чугуна, позволяющую формировать пустотелый камень. Это положило начало современной индустрии изготовления пустотных бетонных камней. Большие и точные геометрические размеры камней увеличивают темп

* ДТА – дифференциально-термический анализ.

строительства, а конструкционные пустоты позволяют создавать высокопрочную несущую конструкцию путем заполнения пустот монолитным бетоном или железобетоном.

Полученная таким образом композиция представляет собой комплексную конструкцию [6], компоненты которой при совместном деформировании под воздействием внешней нагрузки значительно отличаются по структурным и механическим характеристикам.

В нормативных документах не содержится необходимых сведений для проектирования комплексных конструкций с использованием пустотных камней, что свидетельствует о том, что вопросы их прочности мало изучены. Отсутствие достаточной опытно-экспериментальной, нормативной базы проектирования и анализа экономической эффективности использования комплексных сборно-монолитных бетонных и железобетонных конструкций на основе вибропрессованных пустотных камней сдерживает развитие этого направления в строительстве.

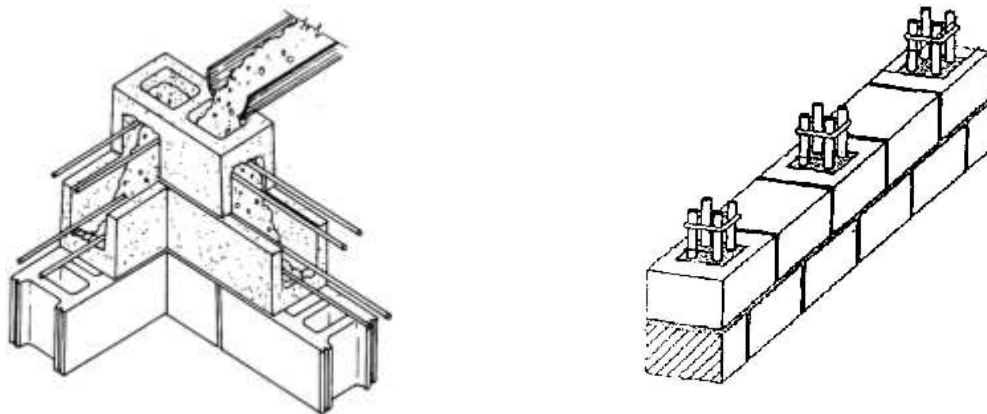


Рис. 1. Горизонтальное и вертикальное армирование комплексных конструкций

С целью разработки предложений к расчету прочности комплексных сборно-монолитных железобетонных конструкций, содержащих вибропрессованные бетонные камни на кафедре «Строительные конструкции» Полоцкого государственного университета проведены экспериментально-теоретические исследования образцов колонн с различным армированием, максимально приближенных к элементам натуральных конструкций по размерам сечений, схемам их армирования и составу бетона. В образцах колонн (К1 – К6) использовались пустотелые бетонные камни из мелкозернистого бетона, изготовленные вибропрессованием по технологии «Бессер».

Полученные экспериментальные данные (рис. 2) позволили установить существенные особенности их напряженно-деформированного состояния и факторы, влияющие на прочность. Разработаны предложения к расчету прочности рассматриваемых конструкций с использованием диаграмм деформирования кладки, бетона заполнения и арматуры [7 – 9]. Проведен анализ технико-экономической эффективности практического применения сжатых комплексных железобетонных конструкций на основе вибропрессованных бетонных камней.

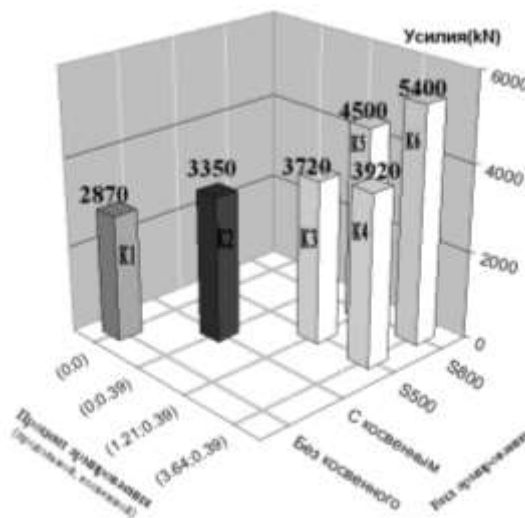


Рис. 2. Прочность образцов с различным армированием

Влияние профиля арматуры на свойства конструкций. Наряду с заполнением пустот бетоном, в некоторых проектных решениях необходимо увеличение несущей способности без увеличения поперечного сечения. Решение проблемы связей между стенами, сборно-монолитными колоннами и монолитным перекрытием является актуальной задачей, при этом возникают вопросы анкеровки арматуры и характера ее работы в теле бетона как в сжатых, так и изгибаемых элементах.

В производстве железобетонных изделий в настоящее время Республика Беларусь по примеру европейских стран перешла на использование стержневой арматуры серповидного периодического профиля. За счет лучшей конструкции профиля, выражающейся в отсутствии пересечений продольных и поперечных ребер, такая арматура имеет комплекс эксплуатационных свойств, существенно лучших, чем у арматуры с кольцевым профилем по ГОСТ 5781. Механические параметры арматуры с серповидным периодическим профилем на 5 – 10 % выше, выносливость в 1,5 – 2 раза больше, меньше изнашиваемость прокатных валков при ее производстве.

Кроме того, Белорусский металлургический завод освоил выпуск проката арматурной стали как серповидного периодического профиля с различными значениями высоты и шага поперечных выступов, так и с профилями другой конфигурации (винтовой, четырехсторонний серповидный и пр.). Между тем периодический профиль, наносимый на поверхность арматуры при ее производстве, является наиболее важным параметром, влияющим на сцепление арматурных стержней с бетоном, и должен обеспечивать приемлемое сочетание таких показателей, как максимальная прочность сцепления, ограничение прогибов и раскрытия трещин, а также минимальный распор, вызывающий откалывание защитного слоя и продольное раскалывание [10]. Многочисленные исследования показали, что, когда выступы стержня высокие и расположены близко друг к другу (соотношение высоты поперечных выступов к их шагу (h_s/t) больше 10), в большей мере проявляются касательные напряжения в бетоне, вследствие чего происходит проскальзывание стержня. Такой характер взаимодействия с бетоном типичен для арматуры с кольцевым периодическим профилем по ГОСТ 5781. Если расстояние между выступами превышает их высоту примерно в 10 раз и более, частично раскрошенный бетон может образовывать клин под выступом, и разрушение обычно происходит вследствие растрескивания окружающего бетона (характерно для арматуры с серповидным периодическим профилем по ГОСТ 10884) [11].

Экспериментально-теоретические работы по изучению влияния арматуры периодического профиля на бетон проводятся на кафедре «Строительные конструкции» УО «ПГУ». Были проведены испытания на вытягивание арматурных стержней из бетонных цилиндров согласно рекомендациям ЕКБ/ФИП. Исследования выполнялись на основе сравнительных испытаний на выдергивание из бетона арматуры $\varnothing 25$ мм класса S500, с различными видами периодического профиля (рис. 3): серповидный по ГОСТ 10884; серповидный четырехсторонний ТУ ВУ 400074854.026-2005. Контроль геометрических параметров профиля арматуры производился при помощи глубиномера до формования образцов. Опытные образцы для испытания на сцепление представляли собой центрально армированные бетонные цилиндры с диаметром основания $D = 300$ мм и высотой $H = 250$ мм. Величина заделки арматуры в бетон составляла 175 мм, при этом в другой части высоты образца сцепление с арматурой искусственно исключалось (стержень заключался в изолирующий материал).

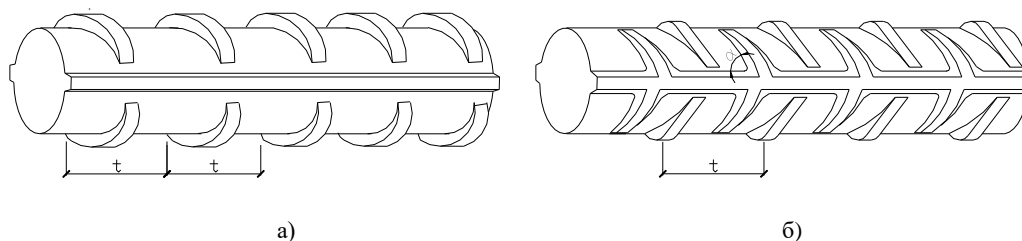


Рис. 3. Виды исследуемых периодических профилей арматуры:
а – серповидный профиль по ГОСТ 10884-94;
б – четырехсторонний серповидный профиль по ТУ ВУ 400074854.026-2005

Получены опытные данные распределения поперечных деформаций бетона в различных сечениях по периметру арматурного стержня с периодическими профилями, соответствующими ГОСТ 10884 и ТУ ВУ 400074854.026-2005.

Установлено, что более равномерное распределение по периметру сечения площади смятия поперечных ребер арматуры с четырехсторонним серповидным периодическим профилем приводит к уменьшению поперечных деформаций бетона и, как следствие, более равномерному распределению напряже-

ний распора. Однако, как показали опытные данные, имеющаяся разница в поперечном давлении не оказала значительное влияние ни на характер нарушения сцепления с бетоном арматуры исследуемых видов профилей, ни на величину нагрузки, предшествующей моменту разрушения образцов.

Заключение. Выполненные исследования показывают, что с использованием современных материалов и конструктивных решений возможно строительство малоэтажных зданий с минимальным использованием машин и механизмов. При проектировании несущих комплексных конструкций необходимо учитывать совместную работу кладки, бетона заполнения и арматуры уделяя большое внимание анкеровке арматурных изделий. При этом за счет небольшой массы мелкоштучных элементов возможно снижение расходов на использование грузозахватных приспособлений и в целом снижение стоимости строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузовков, А.В. Маркетинговое исследование конкурентоспособности керамического кирпича, произведенного на территории Республики Беларусь / А.В. Кузовков // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь: Материалы VI Международ. науч.-техн. семинара. – Минск: УП «Технопринт», 2000. – С. 44 – 48.
2. Петров, Л.К. Повышение морозостойкости кирпича на Обольском кирпичном заводе / Л.К. Петров, М.И. Шубин // Сб. науч. работ НИИСМ; Изд. АН БССР, Минск, 1959. – Вып. 8. – С. 139 – 143.
3. Кинка, А.И. Производство кирпича марки 150 / А.И. Кинка // Строительные материалы. – М., 1966. – № 8. – С. 27 – 28.
4. Керамическая масса: а.с. 658109 СССР, МКИ С 04 В 33/00. / Л.Ф. Линдинь [и др.]. – № 2518789/29-33; заявл. 01.09.77; опубл. 25.04.79 // Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. – 1979. – № 15. – С. 80.
5. Лиштван, И.И. Основные свойства торфа и методы их определения / И.И. Лиштван, Н.Т. Король. – Минск: Наука и техника, 1975. – 320 с.
6. Пастернак, П.Л. Комплексные конструкции / П.Л. Пастернак. – М.: Стройвоенмориздат, 1948. – С. 88.
7. Гринев, В.В. Уровни микротрещинообразования сжатых комплексных сборно-монолитных конструкций на основе бетонных вибропрессованных камней / В.В. Гринев, Ю.В. Попков, С.В. Ляшков // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. – 2007. – № 6. – С. 42 – 46.
8. Гринев, В.В. Анализ напряженно-деформированного состояния при сжатии кладки из вибропрессованных бетонных, пустотных камней с использованием компьютерного моделирования / В.В. Гринев // Ресурсоэкономные материалы, конструкции, здания и сооружения: сб. ст. посв. 85-летию Нац. ун-та водного хоз-ва и природопользов. – Ровно (Украина), 2007. – № 15. – С. 142 – 149.
9. Попков, Ю.В. Прочность сжатых сборно-монолитных конструкций на основе бетонных вибропрессованных пустотных камней / Ю.В. Попков, В.В. Гринев // Современные проекты, технологии и материалы для строительного, дорожного комплексов и жилищно-коммунального хозяйства: сб. ст. IV Междунар. юбил. науч.-практ. конф., посв. 75-летию БГИТА и 45-летию строит. фак., Брянск (Рос. Федерация), 13 – 14 апр. 2006 г. – Брянск: БГИТА, 2006. – С. 215 – 220.
10. Дегтярев, В.В. О статье И.Н. Тихонова, В.З. Мешкова, Г.Н. Судакова «О нормировании анкеровки стержневой арматуры» / В.В. Дегтярев // Бетон и железобетон. – 2007. – № 1. – С. 25 – 28.
11. Мулин, Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций / Н.М. Мулин. – М.: Стройиздат, 1974. – 233 с.

Поступила 11.11.2008