

УДК 624.012.4-183.4

ЛЕГКИЕ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Семко Александр Владимирович

*Заведующий кафедрой «Архитектура и городское строительство»
Полтавского национального технического университета им. Юрия Кондратюка,
доктор технических наук, профессор*

Авраменко Юрий Александрович

*Аспирант кафедры «Конструкции из металла, дерева и пластмасс»
Полтавского национального технического университета им. Юрия Кондратюка*

Постановка проблемы в общем виде

Любое современное строительство – индивидуальное, муниципальное или коммерческое – нуждается в новых прогрессивных энергоэкономных проектно-конструктивных решениях с использованием теплоэффективных конструкций. Среди них выгодно отличается применение легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) и использование легких бетонов.

В настоящее время в Украине и России увеличивается количество европейских и отечественных производителей холодногнутых и холоднокатаных стальных конструкций. Но их применение в качестве несущих конструкций в большинстве случаев затруднено из-за нерешенного вопроса потери местной устойчивости и прочности узловых соединений [1-3].

Анализ исследований и публикаций

В последние годы легкие, эффективные материалы все шире и успешнее применяются в конструкциях для строительства малоэтажных жилых и общественных зданий, универсальных производственных зданий, для возведения мансардных этажей. Сочетание ЛСТК и легких бетонов позволяет улучшить теплотехнические и акустические показатели, повысить скорость строительства, а также значительно уменьшить нагрузку на фундамент.

В мировой строительной практике легкие бетоны получили широкое распространение как теплоизоляционные плотностью до 500 кг/м^3 , конструктивно-изоляционные (для ограждающих конструкций) плотностью $500\text{-}1400 \text{ кг/м}^3$ и конструкционные материалы (для несущих конструкций) плотностью $1400\text{-}1800 \text{ кг/м}^3$.

По мнению многих специалистов [4-6], на сегодняшний день это практически безальтернативные конструктивные материалы, которые четко вписываются в идеологию сохранения теплоэнергоресурсов и позволяют исключить из конструкции наружной стены такие недолговеч-

ные и нетехнологические материалы, как пенопласт и различные минераловатные утеплители, сохраняя или повышая при этом характеристики прочности конструкции. Именно поэтому было решено провести исследования, по результатам которых можно получить информацию относительно повышения несущей способности ЛСТК при заполнении их легким бетоном различного состава.

Целью исследования являются экспериментальное определение состава легкого бетона для заполнения полостей ЛСТК, особенности совместной работы бетона с металлом и оптимальное их сочетание.

Изложение основного материала

Предварительный подбор состава легкого бетона проводился экспериментально путем пропорционального введения легкого заполнителя: полистирола и керамзита. Зная влияние каждого из компонентов и их общее воздействие на свойства бетона, а также характеристики изделий и конструкций из него, возможно целенаправленно управлять ими на всех стадиях технологического процесса производства и эксплуатации, что является одной из главных задач на современном этапе развития строительства [7-8].

Исходя из того, что твердая фаза - матрица легкого бетона должна обеспечиваться, прежде всего, необходимая прочность, т.е. технологический процесс должен быть направлен на создание наиболее прочного межпорового материала. Поэтому для изготовления различных серий экспериментальных образцов были использованы материалы, приведенные в табл. 1.

В качестве вяжущего в серии Б1 использовался портландцемент марки М400, в сериях Б2, Б3 и Б4 – портландцемент марки М500, роль пористого заполнителя выполняли полистирол вспененный гранулированный (ПВГ) [7], керамзит (фракции 5-20 мм) с насыпной плотностью 450 кг/м³ [8], не «жесткая» вода, кварцевый песок с модулем крупности 1,4 и жидкая воздухововлекающая добавка – смола древесная омыленная (СДО).

Таблица 1

Состав бетонов

Материал	Ед. изм.	Расход материалов на 1 м ³ бетона составом			
		Б1	Б2	Б3	Б4
Цемент	кг	200	500	500	380
Песок	кг	–	–	420	380
Керамзит	м ³	–	–	–	1250
Пористый заполнитель	м ³	1,05	0,95	0,95	–
Жидкая воздухововлекающая добавка	кг	1,0	0,6	0,6	–
Вода	л	100	140	160	170

В рамках эксперимента для определения физико-механических свойств каждого состава бетона одновременно с соответствующими образцами было изготовлено и исследовано четыре комплекта стандартных бетонных кубиков (150×150×150) (рис. 1).

Образцы испытывались в возрасте 28-30 дней на приборе УИМ-5 и гидравлическом прессе ЗИМ-250. Испытание проводилось ступенями. Загрузка осуществлялась до разрушения каждого из образцов. Продольные и поперечные деформации измерялись с помощью электротензорезисторов, которые размещались по четырем граням (рис. 2).

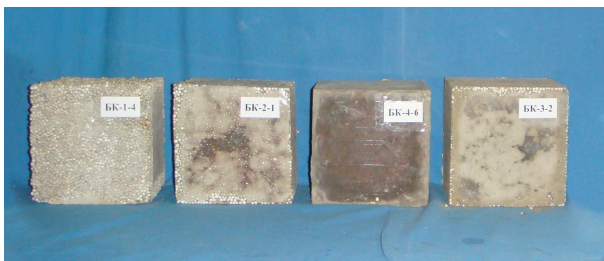


Рис. 1. Опытные образцы из каждой серии



Рис. 2. Испытания бетонных образцов

Важную роль в технологическом процессе играют условия и методы изготовления бетонной смеси, формование изделий и параметры тепловлажностных условий набора проектной прочности бетона. При самом распространенном расположении легких сферических тел при производстве рассмотренных легких бетонов объем пустот между гранулами составляет около 40%. Это свободное пространство заполняется цементом

и песком. Учитывая удельный вес цементного камня и различных типов заполнителей, становится видно, что плотность материала может составлять 743-1495 кг/м³, что в полной мере соответствует конструктивно-изоляционному назначению выбранных материалов (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики бетонных образцов

Состав бетона	Среднее значение удельного веса, кг/м ³	Средняя кубиковая прочность бетона в партии, МПа	Размах прочности бетона в партии, МПа	Среднее квадратическое отклонение прочности в партии, МПа	Коэффициент вариации прочности бетона в партии, %	Нормативная прочность бетона на сжатие, МПа
Б1	261	0,163	0,026	0,010	6,37	0,15
Б2	743	2,373	0,714	0,286	12,04	1,91
Б3	1059	4,863	0,436	0,174	3,59	4,58
Б4	1494	13,311	3,441	1,376	10,34	11,05

Для уменьшения плотности полистиролбетона можно использовать метод «капсулирования» заполнителя. Крупнопористые бетоны, которые не имеют в своем составе мелкого заполнителя (песка) - яркий пример возможности получения утеплителя повышенного теплосбережения на основе компонентов, имеющих относительно высокую теплопроводность. Цемент равномерным слоем распределяется по поверхности гранул вспененного полистирола, которые затем соединяются друг с другом. Полости между гранулами остаются незаполненными, что позволяет получать полистиролбетон плотностью около 260 кг/м³. Однако гранулы вспененного полистирола сферической формы даже при шахматном заключении соприкасаются только в шести точках, что существенно снижает прочность такого бетона до 0,15 МПа. К тому же для получения полистиролбетона крупнопористой структуры необходимо покрыть каждую гранулу тонким слоем цементного клея, что, учитывая сферическую форму и гладкую поверхность полистирольного заполнителя, достаточно сложно, а без качественного перемешивания и химических добавок практически невозможно.

По результатам расчетов были определены прочность бетонных образцов, построен график зависимости разрушающей нагрузки от удельного веса (рис. 3) и определен коэффициент вариации, значения которого меняются от 3,59 до 12,04, что свидетельствует об улучшении технологии производства и повышения качества бетона. Такое расхождение объясняется изменчивостью геометрических размеров контрольных образцов (изменчивость площади опорных граней кубиков).

В рамках экспериментального исследования также были проведены испытания на сжатие 10 коротких стоек, изготовленных из одиночных тонкостенных холоднокатаных С-образных профилей и заполненных соответствующими легкими бетонами. Схема сечения профилей представлена на рис. 4.

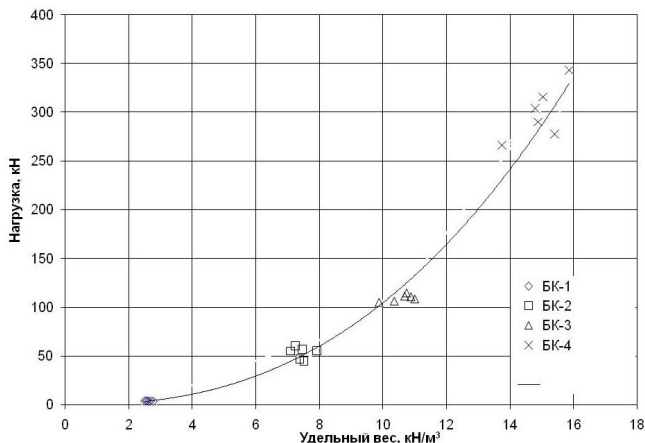


Рис. 3. Зависимость несущей способности от состава бетона

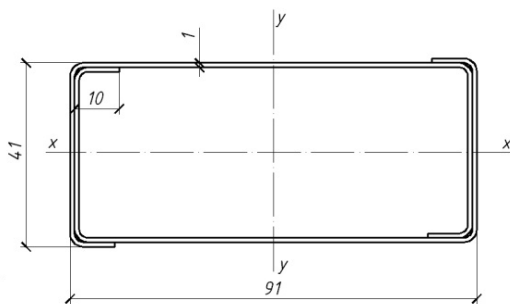


Рис. 4. Геометрические размеры сечения образцов серии СБ-200

Длина элементов 200 мм исключает возможность общей потери устойчивости. Испытание проводилось на гидравлическом прессе ЗИМ-250. Экспериментальные образцы испытывались по схеме шарнирно опертой с обоих концов стойки, нагруженной сосредоточенной силой (рис. 5).

Характер работы образцов под нагрузкой можно разделить на несколько этапов:

- при нагрузке около 60-70% от разрушающей происходило локальное выпучивание стенки экспериментальных образцов посередине высоты

образца. Потеря устойчивости имела упругий характер, и при разгрузке наблюдались обратные деформации;

- при нагрузке более 90% от предельной наблюдались появления мест потери местной устойчивости на пластинчатых элементах стенки, полок и кромковых ребер жесткости (рис. 5,а). Количество участков, на которых происходила потеря местной устойчивости, не превышало трех по высоте элемента;
- при нагрузке, указанной в табл. 3, происходило разрушение образцов, которое сопровождалось ростом деформаций.

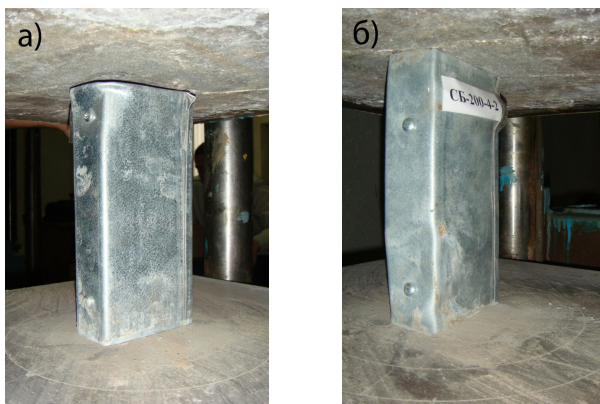


Рис. 5. Испытание коротких стоек на сжатие

Таблица 3

Несущая способность экспериментальных образцов

Серия образца	Состав бетона	Предельная экспериментальная нагрузка, кН	Увеличение несущей способности по сравнению со стальным образцом
СБ-200-1-1	Б1	80,8	1,003
СБ-200-1-2	Б1	81,0	1,005
СБ-200-2-1	Б2	85,9	1,066
СБ-200-2-2	Б2	85,4	1,060
СБ-200-3-1	Б3	101,3	1,258
СБ-200-3-2	Б3	103,9	1,255
СБ-200-4-1	Б4	104,7	1,300
СБ-200-4-2	Б4	104,6	1,299
СБ-200-5-1	—	80,5	0,999
СБ-200-5-2	—	80,6	1,001

В ходе исследования выявлено, что на несущую способность профиля значительно влияют начальные несовершенства. Так, были неединичные случаи, когда разрушение происходило на участке возле опоры стойки в месте приложения нагрузки (рис. 5,б). Это объясняется определенной неравномерностью приложения нагрузки на образцы.

Средний коэффициент увеличения прочности для серии СБ-200-1 составляет 1,004, что в полной мере отвечает тепло- и звукоизоляционным свойствам полученных образцов. Прирост в 6,3 и 26,0%, для образцов серий СБ-200-2 и СБ-200-3 соответственно может характеризовать материал как легкий конструктивно изоляционный. Увеличение несущей способности на 30% в случае с СБ-200-4 дает небольшое преимущество по сравнению с удельным весом материала.

Для дальнейших исследований нами были спроектированы и изготовлены легкие сталежелезобетонные конструкции, удельный вес которых не превышает 1000 кг/м^3 (рис. 6), позволяющие воспринимать значительные нагрузки, увеличивая несущую способность сжатых и изогнутых элементов, дающие возможность эффективно использовать физикомеханические свойства материалов и экономить цемент и сталь. Сочетание ЛСТК и легкого бетона позволит улучшить теплотехнические и акустические показатели, повысить скорость строительства, а также значительно снизить нагрузку на фундамент и решить вопрос возведения зданий в сейсмических районах.



Рис. 6. Изготовление легких сталежелезобетонных конструкций

Выводы

В результате экспериментально-теоретических исследований было выявлено, что прочностные и деформативные характеристики полученного полистиролбетона удовлетворяют практически любым требованиям для производства сталежелезобетона из ЛСТК. Используя полистиролбетон в качестве конструктивного элемента в комплексных конструкциях, а также теплоизоляции и шумоизоляции, значительно уменьшается нагрузка на конструктивные элементы здания, что приводит к уменьшению размеров последних, т.е. непосредственно влияет на скорость и стоимость строительства в целом. По нашему мнению, наиболее оптимальным является использование легкого бетона удельным весом 9 кН/м^3 , который способен выдерживать нагрузку около 3,5 МПа.

Библиографический список

1. Астахов И.В. Пространственная устойчивость элементов конструкций из холодногнутых профилей: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.23.01 / И.В. Астахов. – СПб.: СПГАСУ, 2006. – 24 с.
2. Лагун Ю.И. Экспериментальные исследования поведения тонкостенных холодногнутых профилей под нагрузкой / Лагун Ю.И., Лешкевич О.Н., Новиков В.Е., Чубрик А.П. // Современные металлические и деревянные конструкции (нормирование, проектирование и строительство): Сб. науч. тр. Междунар. симпоз., г.Брест, 15-18 июня 2009 г. – Брест: ОАО «Брестская типография», 2009. – С. 148-153.
3. Yu W.-W. Cold-Formed Steel Design: third edition / Yu. W.-W. – New York: John Wiley & Sons Inc., 2000. – 645 pp.
4. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства ООО «Балт-Профиль». – М.: ЦНИИПСК, 2006. – 69 с.
5. Clarke J.L. Structural Lightweight Aggregate Concrete. / Clarke J.L. – Taylor & Francis E-Libory, 2005. – 128 pp.
6. Vogdt F. Conceptual and structural design of building made of lightweight and infra-lightweight concretes. / Vogdt F., Schlaich M., Hillemeir B. // Berlin, 2010. – 105 pp.
7. ГОСТ Р 51263-99. Полистиролбетон. Технические условия. – М.: Госстрой России, 1999. – 10 с.
8. Дорф В.А. Высокопрочный керамзитобетон / В.А. Дорф, В.Г. Довжик. – М.: ЦНИИТЭСтром, 1968. – 60 с.