

## РАЗДЕЛ II. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

УДК 624.012

### К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ КОНСТРУКЦИОННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

*БОНДАРЬ В. В., КОЛЕДА С. М.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

**Аннотация.** В статье представлен накопленный опыт применения конструкционного керамзитобетона (в том числе и высокопрочного) при строительстве гражданских и промышленных зданий, гидротехнических и мостовых сооружений, в дорожном строительстве. В публикации рассмотрены требования действующих в Республике Беларусь и в мире норм проектирования, касающихся физико-механических, технологических свойств конструкционных керамзитобетонов, их долговечности, отличия от бетонов так называемой нормальной плотности. Выполнен анализ перспективных направлений развития керамзито-железобетона. Выделены основные вопросы, требующие проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

**Введение.** В практике современного строительства использование керамзитобетона в несущих и ограждающих конструкциях насчитывает вот уже более 40 лет. Наибольшее распространение конструкционный, высокопрочный керамзитобетон получил в США, Канаде, Великобритании, Германии, а также в бывшем СССР. При этом под конструкционным бетоном, следует понимать в соответствии с терминологией [0] бетон, используемый в несущих и ограждающих конструкциях зданий и сооружений и обеспечивающий, главным образом, прочность, жесткость, трещиностойкость несущих конструкций.

В Республике Беларусь в настоящее время керамзитовые заполнители производятся на трех предприятиях: ОАО «Завод керамзитового

гравия г. Новолукомль», Петриковский керамзитовый завод ОАО «Гомельский ДСК», ЗАО «Лидский керамзитовый завод». Несмотря на достаточно большие объемы выпускаемого керамзита, все предприятия сосредоточились на изготовлении и реализации керамзита и керамзитобетона преимущественно для ограждающих конструкций зданий и сооружений, для утепления и звукоизоляции полов, теплоизоляции трубопроводов, ландшафтного дизайна. Эта тенденция сложилась прежде всего в постсоветский период в связи со сложным экономическим положением страны и резким сокращением государственных программ, касавшихся исследований в том числе и в строительной науке. При этом в Беларуси, развитие конструкционных и высокопрочных легких бетонов, связывали прежде всего с аглопоритобетоном, с использованием которого в Республике Беларусь было запроектировано и построено немало объектов, в том числе и уникальных. Наиболее ярким с точки зрения архитектурно-конструктивного исполнения является здание Комаровского рынка в Минске (год постройки - 1979), главным конструктивным элементом которого является сборно-монолитная тонкостенная оболочка положительной кривизны и перекрывающая павильон с размерами в плане 103×103 м. Оболочка собиралась из пяти типов плит (по конфигурации в плане). Плиты при пролете 12 м предварительно напряженные, при пролете менее 12 м – с обычным армированием. Угловые зоны оболочки выполнены из монолитного аглопоритобетона.

В 2010–2012 годах научно-исследовательским предприятием РУП «Институт БелНИИС» под руководством профессора Н.П. Блещика были проведены обширные исследования технических характеристик керамзитовых заполнителей, выпускаемых предприятиями Республики Беларусь, с целью определения рациональных областей их применения. В процессе исследований были разработаны составы конструкционного керамзитобетона прочностью до 60 МПа. Исследования также показали, что для конструкционного керамзитобетона необходимо использовать преимущественно керамзитовый гравий фракции 5–20 мм и маркой по прочности от П100 до П400 в соответствии с требованиями стандарта [4], выпускаемый только двумя из трех предприятий Республики Беларусь – Петриковский керамзитовый завод ОАО «Гомельский ДСК» и ЗАО «Лидский керамзитовый завод».

Помимо вышеуказанных исследований с 2012 года в Белорусско-Российском университете под руководством профессора Семенюка С.Д. ведется изучение физико-механических свойств керамзитобетона. Прочность керамзитобетона в исследованиях соответствует классам в диапазоне от LC8/9 до LC25/28 [5]. Цель исследований – уточнение прочностных и деформативных характеристик керамзитобетона с последующим техническим и экономическим обоснованием расширения области применения керамзитобетона.

**Определение базовых прочностных и деформативных характеристик керамзитобетона.** В соответствии с современными представлениями легкий бетон, в частности керамзитобетон, используемый для изготовления элементов несущих конструкций, должен отвечать требованиям по минимальной плотности и прочности: плотность должна составлять от 1300 до 1800 кг/м<sup>3</sup>, прочность на осевое сжатие – не менее 15 МПа.

На территории Республики Беларусь требования к прочностным и деформационным характеристикам легких бетонов изложены в трех действующих документах. При этом если в двух первых ТНПА параметрический ряд легких бетонов по классам по прочности на сжатие отличается от такового для бетонов нормальной плотности, то в последнем документе отличий нет за исключением того, что для бетонов нормальной плотности этот ряд более расширенный – до класса В60.

В соответствии с нормами для разных классов плотности существуют различия в расчетных значениях плотности для неармированного легкого бетона и легкого железобетона. К конструкционным легким бетонам, большинством норм предъявляются по сути те же требования, что и к бетонам нормальной плотности.

В то же время раздел 11 норм содержит некоторые дополнительные требования. Для уточнения положений по расчету конструкций из легкого бетона, введен ряд поправочных коэффициентов при определении модуля упругости ( $\eta_E$ ), предела прочности при растяжении ( $\eta_1$ ), коэффициента ползучести ( $\eta_2$ ), усадки при высыхании ( $\eta_3$ ). Значения указанных поправочных коэффициентов определяются в зависимости от значения плотности бетона (коэффициенты  $\eta_E$ ,  $\eta_1$ ), либо в зависимости от класса на осевое сжатие (коэффициенты  $\eta_2$ ,  $\eta_3$ ).

Требования к главной деформационной характеристике легкого бетона – модулю упругости на территории Республики Беларусь предъявляются в двух нормативных документах - ТКП EN 1992-1-1-2009\* и СНиП 2.03.01-84\*. При этом методики определения модуля упругости в указанных нормах разные.

Таблица 1

Значения поправочного коэффициента  $\lambda$  установленного американскими нормами АСІ 318-14 для легкого бетона

Вид бетона	Легкий бетон любого вида	Мелкозернистый легкий бетон	Легкий бетон с песчаным заполнителем	Крупнозернистый легкий бетон с песчаным заполнителем	Бетон нормальной плотности
Поправочный коэффициент $\lambda$	0,75	0,75–0,85*	0,85	0,85–1,0*	1,0

В нормах для легкого бетона среднее значение модуля упругости  $E_{lcm}$  следует рассчитывать по формуле:

$$E_{lcm} = \eta_E \cdot E_{cm} = \left( \frac{\rho}{2200} \right)^2 \cdot 22 \cdot \left[ \frac{(f_{cm})}{10} \right]^{0,3}, \text{ МПа} \quad (1)$$

где  $\eta_E$  – поправочный коэффициент для расчета среднего значения модуля упругости легкого бетона;

$E_{cm}$  – значение секущего модуля упругости для бетона нормальной плотности, МПа;

$\rho$  – плотность легкого бетона после сушки в печи, определяемая согласно требований стандарта, кг/м<sup>3</sup>;

$f_{cm}$  – среднее значение цилиндрической прочности бетона на сжатие, МПа.

Из анализа зависимости (1), можно сделать вывод, что значения модуля упругости легкого бетона изначально в значительной степени зависят от плотности  $\rho$  и в гораздо меньшей степени – от значения средней прочности на сжатие  $f_{cm}$ .

Норма модуль упругости предписано принимать в соответствии с данными соответствующей таблицы. Никаких аналитических

зависимостей для расчета модуля упругости ни для тяжелого бетона, ни для легкого не предусмотрено. При этом, исходя из каких соображений были установлены те или иные табличные значения модуля упругости в нормах не разъяснено.

Согласно американских норм, модуль упругости легкого бетона в диапазоне плотностей от 1440 до 2560 кг/м<sup>3</sup> следует рассчитывать по зависимости:

$$E_c = \omega_c^{1,5} \cdot 33 \cdot \sqrt{f'_c}, \text{ МПа} \quad (2)$$

где  $\omega_c$  – плотность легкого бетона, Н/мм<sup>3</sup>;

$E_c$  – значение модуля упругости для легкого бетона, МПа;

$f'_c$  – значение цилиндрической прочности бетона на сжатие, МПа.

Таким образом, зависимость (2) тоже предусматривает учитывать плотность легкого бетона при определении модуля упругости. Можно констатировать, что плотность легкого бетона оказывает наиболее значительное влияние на величину модуля упругости.

Приведенные формулы (1) и (2) дают приближенные значения модуля упругости, которые могут варьироваться в достаточно широких пределах. В то же время нормы допускают возможность устанавливать значение модуля упругости экспериментальным путем, а затем, соответственно использовать эти опытные данные в дальнейших расчетах.

**Долговечность керамзитобетона.** Исследований долговечности керамзитобетона в мире достаточно мало. И практически нет исследований долговечности керамзитожелезобетона.

Среди всех проанализированных научных литературных источников, а также нормативных документов, следует выделить уже упомянутую выше работу [3], в которой были проведены комплексные исследования долговечности и изучение физико-механических свойств керамзитобетона применительно к условиям эксплуатации теплотрасс при действии повышенных до 150 °С температур и с учетом агрессивного воздействия грунтовых вод. Керамзитобетон при этом применялся при изготовлении конструкций лотков.

Полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о вполне удовлетворительных показателях морозостойкости и водонепроницаемости и их соответствии требованиям действовавших на то время норм.

Испытания показали, что снижения прочностных характеристик конструкционного керамзитобетона при длительном хранении в средах с допустимой средней степенью агрессивности практически не наблюдалось, что можно объяснить следующим:

- керамзитовый гравий и песок обладают высокой стойкостью в агрессивных средах в силу особенностей их химического состава;

- поры заполнителя служат дополнительно емкостью, которая вмещает в себя кристаллы новообразований в теле бетона и этим способствует снижению кристаллизационного давления, которое вызывает растягивающие напряжения и разрушение бетона.

Таким образом, конструкционный керамзитобетон, применяющийся в лотках теплотрасс, не требует специальных мер защиты отличных от тех, которые установлены для бетона нормальной плотности. Тем не менее, нормами предусмотрено увеличение значений минимального защитного слоя бетона на 5 мм, в то время как в нормах и в нормах никаких дополнительных требований к величине защитного слоя для легкого бетона, в том числе и с применением керамзита, не установлено.

**Заключение.** Преимущества конструкционного керамзитобетона перед бетоном нормальной плотности неоднократно перечислены в целом ряде работ **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Тем не менее, остаются слабо изученными следующие проблемы, требующие проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований:

- поведение керамзитобетона прочностью более 30 МПа в условиях сложных напряженно-деформированных состояний;

- долговечность, в том числе коррозионная стойкость, в условиях воздействия сильноагрессивных химических сред, воздействия хлоридов, воздействия воздуха и влаги (коррозия, вызываемая карбонизацией бетона);

- экономический эффект от применения конструкционного керамзитобетона в любых несущих конструкциях зданий и сооружений (в том числе и из монолитного железобетона), и в особенности, в совмещающих несущую и ограждающую функцию конструкциях.

Решение обозначенных вопросов с учетом возрастающего объема применения керамзита на территории Республики Беларусь, позволит в более полной мере использовать керамзитобетон наравне с бетоном нормальной плотности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТБ 1544–2005\* Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия. Переиздание / Госстандарт РБ. – Минск, 2015. – 22 с.
2. Фаликман, В.Р. Высокопрочный легкий бетон: технология и свойства / В.Р. Фаликман, Ю.В. Сорокин, О.М. Горячев // Бетон и железобетон. – Москва, 2005. – № 2. – С. 8–11.
3. Коммисаренко, Б.С. Керамзитобетон для эффективных ограждающих конструкций / Б.С. Коммисаренко // Дис...доктор техн.наук: 05.23.05; СГАСА. – Самара, 2000. – 320 с.
4. СТБ 1217-2000 Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия / Минстройархитектуры РБ. – Минск, 2000. – 10 с.
5. Семенюк, С.Д. прочностные и деформативные характеристики легких бетонов на основе керамзита заводов Беларуси / С.Д. Семенюк, И.И. Мельянцова, А.Г. Подголин // Вестник ПГУ. Прикладные науки. – 2015. – № 16 – С. 54–60.

УДК 624

### **О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАМЫ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С УПРУГИМ ОСНОВАНИЕМ**

*БОРИСЕВИЧ А. А., ЩЕРБАК С. Б.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Интерес к разработке методов решения прямых и обратных задач строительной механики для несущих систем, взаимодействующих с основанием, поддерживается практикой строительства наземных объектов. Это направление исследований весьма разнообразно. В задачах реального проектирования необходимо учесть, по возможности, все факторы, влияющие на надежность и экономичность зданий и сооружений.