

## К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА

*Е. В. Шелест*

*М. т. н., мл. науч. сотр. отраслевой лаборатории «Научно-исследовательский центр инноваций в строительстве» БрГТУ, Брест, Беларусь, shelest.elena@list.ru*

### Реферат

В статье рассматривается опыт проектирования и строительства гражданских, промышленных объектов и объектов транспортной инфраструктуры с применением конструкционного керамзитобетона в Республике Беларусь и в мировой практике. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния предварительного замачивания заполнителя на механические (прочностные) свойства и характеристики керамзитобетона.

**Ключевые слова:** керамзитобетон, прочность на сжатие, заполнитель, водопоглощение, легкий бетон.

## ON THE ISSUE OF RESEARCHING THE TECHNOLOGY STRUCTURAL EXPANDED CLAY CONCRETE OF PREPARATION

*E. V. Shelest*

### Abstract

The article discusses the experience of designing and building civil, industrial and transport infrastructure facilities using structural expanded clay concrete in the Republic of Belarus and in world practice. The results of experimental studies of the effect of preliminary soaking of aggregate on mechanical (strength) properties and characteristics of expanded clay concrete are presented.

**Keywords:** compressive strength, aggregate, water absorption, lightweight concrete.

### Введение

Современный уровень развития строительной отрасли диктует необходимость совершенствования и разработки новых, эффективных, долговечных строительных материалов, конструкций и технологий изготовления, которые способствуют решению проблем энергосбережения, снижения себестоимости строительно-монтажных работ, сокращению сроков строительства. Одним из таких материалов в практике современного строительства является керамзитобетон. На сегодняшний день керамзит является одним из востребованных искусственных заполнителей для легкого бетона. Обладая относительно большой прочностью на сжатие при небольшой средней насыпной плотности, большим количеством замкнутых пор, он служит хорошим конструкционным материалом [1, 2].

**Опыт применения конструкционного керамзитобетона.** Большое распространение конструкционный высокопрочный керамзитобетон получил в США, Канаде, Великобритании, Германии. Сегодня в Европе производится широкая номенклатура искусственных ячеистых заполнителей в виде разделенного по фракциям керамического гравия. В Германии это вспученные сланцы Liapor 3 –

Liapor 8 с фракциями 4–8 и 8–16 мм и насыпной плотностью, соответственно, от 325 до 800 кг/м<sup>3</sup>, а также Liapor-sand с крупностью до 4 мм [3]. В Швеции и Норвегии производится керамзит разной плотности под торговой маркой Leca™ (lightweight expanded clay) [4, 5], в Великобритании производят зольный гравий под маркой Lytag® [6].

Весьма эффективно применение легкого бетона в сборных большепролетных несущих конструкциях зданий различного назначения, где существенную долю от расчетной нагрузки имеет их собственная масса. В материалах fib (международная федерация бетона и железобетона) имеется информация об эффективном использовании легких бетонов в достаточно больших объемах в сборных конструкциях следующих видов: ненапряженные кровельные плиты, конструкции рам, преднапряженные стропильные фермы, консольные элементы кровли пролетом до 30 м, балки, перекрытия, плиты покрытий, крупноразмерные оболочки покрытий различной конфигурации, пролетные строения мостов. Приводятся такие уникальные примеры применения керамзитобетона в сборных конструкциях, как забивные сваи, высоконапорные трубы больших диаметров в России, цилиндрические трубы малых диаметров в транспортном строительстве в США, сборные элементы морских гидротехнических сооружений, в частности, свай-оболочки причальных сооружений и платформы для добычи нефти в северных приливных морях. В транспортном строительстве из монолитного легкого бетона выполняют конструкции мостов, покрытия дорог и аэродромов.

В последние десятилетия наметилась тенденция к увеличению доли конструкционного легкого бетона прочностью 45–70 МПа в вертикальных несущих элементах высотных зданий, предварительно напряженных сборных плитах покрытий и перекрытий, конструкциях мостов и морских сооружений (Норвегия, Голландия, США, Германия, Великобритания, Япония и др.). На постсоветском пространстве, в частности, в России, патентный поиск показал, что запатентованных составов высокопрочного легкого бетона ( $R_{сж} \geq 40$  МПа) практически нет. Единственный патент был получен в 2007 г. российскими учеными А. Н. Пономаревым и М. Е. Юдовичем. В его состав входят наномодификатор и модифицированное базальтовое волокно. Прочность бетона при сжатии достигает 47 МПа при плотности 1,63 кг/дм<sup>3</sup> [7]. В Республике Беларусь также на данный момент сложно получить легкий бетон на основе керамзитовых заполнителей с высокой прочностью на сжатие в виду невысоких физико-механических показателей добываемого сырья.

В настоящий момент в Республике Беларусь керамзитовые заполнители производят только два предприятия: ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» и ЗАО «Лидский керамзитовый завод». Для приготовления легких бетонов используют и песок, и гравий (щебень). И пока данные заводы-изготовители выпускают керамзитовый гравий крупных фракций с довольно низкими показателями марок по дробимости. В 2013 году керамзитовый гравий ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» имел марку по дробимости не выше П75, керамзитовый гравий ЗАО «Лидский керамзитовый завод» – марку П200 (предпочтительнее, не выше П150). На сегодняшний день самая высокая марка выпускаемого керамзита фракции 10–20 мм по дробимости соответствует марке П75 при марке по насыпной плотности М600. Он классифицируется по ГОСТ 32496-2013 как керамзитовый щебень и имеет прочность на сдавливание в

цилиндре 1,615 МПа. Такая прочность крупного заполнителя позволяет изготовить керамзитобетон с маркой по прочности на сжатии, соответствующей по СТБ 1187-2020, классу бетона не выше LC20/22. Ввиду этого методика подбора состава керамзитобетона представляется только в одном варианте, а именно, при известных характеристиках производимых материалов требуется установить возможность достижения с применением этих материалов заданной плотности и прочности на сжатие с учетом подвижности бетонной смеси.

При проектировании состава керамзитобетонной смеси необходимо принимать во внимание наличие ошутимого процента пылевидных частиц, которые химически неактивны по отношению к цементу в вопросе повышения прочности, но являются причиной неучтенного фактора снижения воды затворения. В связи с этим необходимо предусматривать просеивания керамзита как крупной фракции, так и мелкой. Наблюдается также и нарушение целостности структуры зерен крупного заполнителя, способствующее увеличению водопоглощения пористого заполнителя, которое не принималось в расчет при назначении водоцементного соотношения.

Так как пока действующими стандартами требования по однородности к керамзитовым заполнителям не предъявляются, несмотря на совершенствование технологий получения керамзитового гравия, есть задачи по выпуску керамзита с постоянными свойствами, которые требуют доработки.

Задаваясь вопросом повышения прочности легких бетонов при имеющейся невысокой прочности пористого заполнителя, изучили приемы совершенствования структуры.

В частности, были проведены эксперименты на предмет установления, в каком состоянии, в сухом или водонасыщенном, пористые заполнители наиболее полно проявят свои потенциальные возможности в формировании структуры и прочности бетона.

В настоящее время есть диаметрально противоположные мнения о том, в каком состоянии, в сухом или влажном, следует вводить пористый заполнитель в бетонную смесь. Некоторые исследователи считают, что предварительное насыщение пористых заполнителей водой (т. е. при исключении отсоса воды заполнителями) обеспечивает нарастание прочности даже больше, чем при самовакуумировании. Подобно этому некоторые американские ученые полагают, что пористые заполнители перед смешиванием нужно увлажнять, но не до полного насыщения, и выдерживать заполнитель после увлажнения не менее 12-ти часов для равномерного распределения влаги. Так, к примеру, Min-Hong Zhang, инженер по исследованию материалов (Канада) совместно с Odd E.Gjorv, профессором кафедры гражданского строительства Норвежского технологического института, предлагали во избежание преждевременной осадки крупнозернистый заполнитель предварительно смешивать примерно с половиной от общего количества воды в течение, примерно, 10-ти минут [8]. И затем добавлять цемент, диоксид кремния и мелкие заполнители вместе с остальной водой, диспергатором, замедлителем и перемешивать еще 5 минут. Противоположные факты обнаружались в работах И. Н. Максимовой, Н. И. Макридина [9]. Полученные ими экспериментально-опытным путем прочностные характеристики керамзитобетонных образцов показывают наибольшую прочность на сжатие (35 МПа) в возрасте 28-ми суток у образцов, в которых керамзит использовался

в воздушно-сухом состоянии. Продолжая работу над вопросом изучения технологических особенностей формирования структуры и свойств конструкционных легких бетонов, они предложили следующие рекомендации:

1) в общем случае, когда водосодержание бетонной смеси позволяет произвести нормальное уплотнение ее при укладке, заполнитель следует применять в воздушно-сухом состоянии;

2) в случае недостаточной удобоукладываемости рационально повышать ее за счет введения пластифицирующих добавок, а не проводить предварительное насыщение [10].

В. Н. Ярмаковский, исследуя физико-химические и структуро-технологические основы получения высокопрочных и высокодолговечных конструкционных легких бетонов, отмечает, что легкобетонная смесь ведет себя как саморегулируемая система, до тех пор, пока в ней не устанавливается равновлажное и равновесное с окружающей средой состояние. И делает практический вывод о введении заполнителя в сухом состоянии при изготовлении легкобетонной смеси, ввиду того, что процесс установления равновесной влажности в рассматриваемой системе подчиняется, по существу, закону маятника [11].

Необходимо принимать во внимание и то, что обратная миграция влаги из зерен заполнителя в цементное тесто происходит, в зависимости от водоцементного соотношения, в пределах от 30 до 120 мин [9]. То есть, период аккумуляции ее с обратной отдачей в цементное тесто короткий, но значительно превышает время, допустимое на приготовление образцов, регламентируемое действующими ТНПА. Поэтому, при предварительном намачивании крупного заполнителя и замешивании бетонной смеси с требуемым водоцементным соотношением, есть вероятность снижения прочности ввиду избытка воды, которая будет образовываться в заформованных изделиях за счет обратной миграции.

Иной подход к влажностному состоянию заполнителя, вводимого в бетонную смесь, приводит А. Ф. Косач в своей диссертации на тему «Структурообразование в керамзитобетоне при совершенствовании технологии перемешивания и уплотнения» [12]. При исследовании вопроса технологии изготовления легких бетонов на керамзите на предмет влияния своей пористости и повышенной влагоемкости, различных термических расширений компонентов смеси, значительного количества вовлеченного воздуха и т. д., отмечалось, что влагообмен между пористым заполнителем и растворной фазой бетона приводит к неравномерному распределению влаги по растворной части и влажностным деформациям гранул керамзита, в результате чего возникают градиенты концентрации новообразований и напряжений по сечению растворной фазы, имеющие деструктивный характер. В разрешение задачи по снижению объема мигрируемой воды между керамзитом и растворной фазой исследователь предлагал следующее:

– активизацию цемента при применении скоростных смесителей турбулентного типа, что позволит снизить градиенты в растворной фазе по концентрации новообразований, теплоте смачивания и пористости;

– предварительную пропитку керамзита водными растворами, ускоряющими и пластифицирующими добавками в период приготовления смеси за счет изменения порядка загрузки компонентов смеси в смеситель, при этом однородность растворной фазы должна повыситься;

– повторное виброуплотнение смеси в оптимальное время, что имеет своей целью увеличить однородность растворной фазы.

### **Заключение**

Анализ выполненных ранее [8–12] и собственных экспериментальных исследований по установлению влияния предварительного замачивания керамзита на прочностные показатели керамзитобетона, проведенные в отраслевой лаборатории «Научно-исследовательский центр инноваций в строительстве» Брестского государственного технического университета, подтвердил теорию об использовании заполнителя в сухом состоянии при изготовлении легкого бетона. При работе с двумя одинаковыми зерновыми составами в водоцементном соотношении наблюдался дефицит воды затворения уже на стадии перемешивания смеси, проявившийся малой подвижностью смеси. В результате получается сверхжесткая, неоднородная смесь с неравномерными физико-механическими характеристиками. При технологии изготовления керамзитобетона со смешиванием компонентов с предварительным увлажнением крупного заполнителя прочность на сжатие меньше, чем при смешивании сухих компонентов, из-за сложности достижения однородности смеси и структуры бетона в последующем.

### **Литература**

1. Дворкин, Л. И. Основы бетоноведения / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – СПб. : ООО «Стройбетон», 2006 – 692 с.
2. Орендлихер, Л. П. XXI век – век легких бетонов / Л. П. Орендлихер // Технологии бетонов. – 2010. – № 1–2. – С. 31–33.
3. Bennett, D. Innovations in concrete / D. Bennett. – London : Thomas Telford, 2002. – 369 p.
4. Chandra, S. Lightweight aggregate concrete / S. Chandra, L. Berntsson. – London : Elsevier Science, 2008. – 450 p.
5. Clay materials used in construction / edited by G. M. Reeves, I. Sims, J. C. Cripps. – London : Geological Society, 2006. – 525 p.
6. Lytag® lightweight aggregate [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.lytag.com>. – Date of access: 01.09.2023.
7. Бетонная смесь : пат. № RU 2355656 МПК C04B28/02 / А. Н. Пономарев, М. Е. Юдович. – Опубл. 20.05.2009. – 3 с.
8. Zhang, Min-Hong Permeability of high-strength lightweight concrete / Min-Hong Zhang, E. G. Odd // Acl Materials Journal. – 1991. – P. 463–469.
9. Максимова, И. Н. Строительное материаловедение конструкционных легких бетонов: моногр. / И. Н. Максимова, Н. И. Макридин. – Пенза : ПГУАС, 2014. – 204 с.
10. Максимова, И. Н. Технологические особенности формирования структуры и свойств конструкционных легких бетонов / И. Н. Максимова, Н. И. Макридин // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 2. – С. 45–48.
11. Ярмаковский, В. Н. Физико-химические и структурно-технологические основы получения высокопрочных и высокодолговечных конструкционных легких бетонов // Строительные материалы. – 2016. – № 6. – С. 6–11.
12. Косач, А. Ф. Структурообразование в керамзитобетоне при совершенствовании технологии перемешивания и уплотнения : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / А. Ф. Косач. – Омск, 1985. – 199 с.