

УДК 69

Т38

НАУЧНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ
БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
НИИЖБ

ТЕХНОЛОГИЯ
И СВОЙСТВА
НОВЫХ ВИДОВ
ЛЕГКИХ БЕТОНОВ
НА ПОРИСТЫХ
ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

СТРОИИЗДАТ
МОСКВА - 1976

X
666.9
Т30
ГОССТРОЙ СССР
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
НИИЖБ

ТЕХНОЛОГИЯ И СВОЙСТВА
НОВЫХ ВИДОВ
ЛЕГКИХ БЕТОНОВ
НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Под редакцией
канд. техн. наук Г. А. БУЖЕВИЧА

АТ
аб
242298

БИБЛИОТЕКА
Павлодарского
научно-исследовательского института



ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Москва — 1971

*Посвящается
светлой памяти выдающегося
ученого-строителя д-ра техн. наук
профессора Б. Г. СКРАМТАЕВА*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга содержит данные об исследовании и применении новых видов легких бетонов на пористых заполнителях для ограждающих и несущих конструкций. Описываются разновидности легких бетонов на керамзитовых заполнителях, вспученных перлитовом и известняковом песках, зольном гравии, шлакопемзовом и аглопоритовом щебне, вспученном полистироле, гранулированном доменном шлаке, плотном щебне и на органических заполнителях. Рассматриваются также способы улучшения отдельных свойств легких бетонов путем введения в легкобетонную смесь пены или газообразователя для уменьшения объемного веса бетона и экономии песка, химических добавок для повышения стойкости бетона и добавок для пластификации бетонной смеси. Кроме того, излагаются приемы получения малоусадочных, водонепроницаемых и высокопрочных легких бетонов.

В отдельных статьях описаны свойства рассматриваемого нового вида легкого бетона, области его применения, материалы и технология приготовления легкобетонной смеси, особенности технологии производства изделий из данного легкого бетона. Одновременно отмечаются технико-экономические показатели применения отдельных видов описываемых легких бетонов.

Исследования, результаты которых составляют содержание статей настоящего сборника, выполнялись в течение 1963—1969 гг. сотрудниками лаборатории легких бетонов НИИЖБ Госстроя СССР под руководством канд. техн. наук Г. А. Бужевича в связи с необходимостью расширения области применения легких бетонов.

Книга предназначена для инженерно-технического персонала строек и заводов по производству строительных материалов, а также для проектировщиков и научных работников, специализирующихся в области бетона.

Дирекция НИИЖБ

Канд. техн. наук Г. А. БУЖЕВИЧ

РАБОТЫ Д-РА ТЕХН. НАУК ПРОФ. Б. Г. СКРАМТАЕВА В ОБЛАСТИ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

13 сентября 1966 г. скончался виднейший советский ученый-строитель, известный педагог и общественный деятель доктор техн. наук проф. Борис Григорьевич Скрамтаев — один из ведущих специалистов в области строительных материалов и особенно технологии бетонов.

Многогранна деятельность Бориса Григорьевича, значителен его вклад и в развитие технологии легких бетонов.

Еще в 30-е годы, когда у нас зарождалась строительная индустрия, Борис Григорьевич выступал как страстный пропагандист необходимости использования легких бетонов на пористых заполнителях, которые давали возможность значительно снижать вес сооружений.

С книг, 12 брошюр и около 50 статей посвятил Б. Г. Скрамтаев легким бетонам на пористых заполнителях. Кроме того, в ряде его учебников и монографий есть специальные разделы, освещающие вопросы приготовления и применения легких бетонов, по которым он имел ряд авторских свидетельств.

Первой его работой по легким бетонам была статья «Элементы теории проектирования теплого бетона», опубликованная в г. Харькове в 1930 г.

В 1931 г. совместно с И. П. Александриним Б. Г. Скрамтаев выпустил книгу «Теплый бетон». Наряду с опубликованными тогда работами Р. М. Михайлова, Н. А. Попова и др. этот труд оказал большое влияние на развитие технологии легких бетонов, которые стали широко применяться в строительстве. В том

же году в нашей печати были опубликованы несколько статей Б. Г. Скрамтаева по применению заполнителей из доменного шлака и ракушечника и брошюра «Об изготовлении шлакобетонных камней для стен». В 1932 г. в книге «Бетоны различных видов» Б. Г. Скрамтаев одну главу специально посвящает легким бетонам, где описывает различные пористые заполнители, требования к вяжущим, методы проектирования составов и свойства этих бетонов. Одновременно он излагает принципы получения новых видов легких бетонов специального назначения [крупнопористый теплый бетон, аэрокротовый (газовый), пробужденный, деревобетон, ледяной, мелкопористый, пемзовый, поризованный, ячеистый, бетон на кирпичном щебне и т. п.]. В этом же году он выпустил брошюру «Теплобетонные камни», которые тогда стали широко применяться при индустриальных методах возведения стен взамен монолитного легкого бетона и кирпича. Из работ ученого, изданных в 1933 г., интересны брошюры «Шлак котельный» и «Шлак доменный».

В 1934 г. в брошюрах «Теория прочности бетона», «Новые виды бетонов» были опубликованы доклады ученого, прочитанные на Всеукраинской конференции по бетону и железобетону. В них автор разделяет новые виды легких бетонов на мелкопористые и крупнопористые и на бетоны с пористыми заполнителями. К первой группе он относит ячеистый бетон и бетон со студнями (С-бетон), ко второй — бетон без мелкого заполнителя, к третьей — быстротвердеющий известково-трепельный шлакобетон с негашеной известью и кирпичный бетон. В этих докладах Борис Григорьевич впервые подчеркнул, что для новых видов легких бетонов оценка их прочности только по водоцементному фактору является совершенно недостаточной. Поэтому новая обобщающая теория прочности на сжатие бетона разных видов может быть основана на третьей теории прочности (разрушения от сдвига и скалывания), но с учетом внутреннего трения.

В 1934 г. Б. Г. Скрамтаев получил свое первое авторское свидетельство на способ приготовления пористого бетона.

В 1935 г. Б. Г. Скрамтаеву, первому из ученых-бетонщиков, была присвоена ученая степень доктора наук. Его диссертация «Исследование прочности бетона и

пластичности бетонной смеси» была опубликована в 1936 г. и явилась фундаментальным вкладом в отечественную науку по технологии бетона. Глава «Анализ причин разрушения бетона при сжатии» была посвящена теории прочности бетона на плотных и пористых заполнителях. Впервые Б. Г. Скрамтаев сделал попытку теоретически оценить влияние заполнителей на прочность бетона и дать этому явлению математическое обоснование. Выведенные им формулы и гипотезы прочности не потеряли своего значения и сейчас, особенно для легких бетонов, которые часто изготавливаются на слабых заполнителях. То же можно сказать о формуле для определения роста прочности бетона со временем.

В послевоенные годы Б. Г. Скрамтаев возглавлял группу ученых, работы которых способствовали созданию в нашей стране новой отрасли промышленности по производству искусственных пористых заполнителей и изделий из легких бетонов, которая сейчас по объему производства занимает ведущее место в мире.

Как известно, легкие бетоны на пористых заполнителях стали широко применяться с 1955 г. после Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР о широком внедрении сборного железобетона. Эти бетоны сейчас прочно вошли в практику строительства, и народное хозяйство получает экономию от этого примерно 50—60 млн. рублей ежегодно.

Важно подчеркнуть, что с именем Б. Г. Скрамтаева связано широкое применение в послевоенном строительстве крупнопористого (беспесчаного) бетона на плотных и пористых заполнителях на Кавказе (г. Сочи), Дальнем Востоке и Крайнем Севере. Много сделано им для развития керамзитовой промышленности и применения изделий из керамзитобетона в панельном строительстве гражданских и промышленных зданий во многих районах СССР. В настоящее время более 25% стен зданий изготавливается из таких панелей. Перспективным считал Б. Г. Скрамтаев способ поризации бетона. Сейчас в нашей стране ежегодно изготавливается более 1,5 млн. м³ изделий из поризованных легких бетонов.

После Великой Отечественной войны Б. Г. Скрамтаев опубликовал ряд фундаментальных работ по легким и облегченным бетонам, к числу которых относится его

книга «Крупнопористый бетон и его применение в строительстве», изданная в 1955 г. Это первая монография по данному вопросу в нашей стране и за рубежом. Ученый был также автором первой инструкции по изготовлению и применению крупнопористого бетона

В 1956 г. Б. Г. Скрамтаев совместно с М. П. Элинзоном опубликовал работу «Легкие бетоны», где ознакомил советского читателя с практикой применения этих бетонов за рубежом. В 1963 г. была издана брошюра «Однослойные крупные панели из легкого керамзитобетона» Б. Г. Скрамтаева и Н. П. Максимовского.

Б. Г. Скрамтаев был инициатором организации в НИИЖБ в конце 1962 г. специальной лаборатории легких бетонов и являлся ее научным консультантом.

Вклад проф. Б. Г. Скрамтаева в область изучения и применения легких бетонов очень велик. Сейчас, когда перед нами поставлена задача более широкого применения конструкций из легких бетонов, расширения их номенклатуры, повышения качества и снижения стоимости строительства, мы должны с большим вниманием отнестись к творческому наследию ученого. Необходимо обобщение накопленного опыта, дальнейшее развитие теории прочности, деформативности и долговечности бетонов различных видов. Многие в этой области сделано Б. Г. Скрамтаевым, многое предстоит еще сделать нам, его ученикам и последователям.

Дирекция НИИЖБ

ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ НА ПОРИСТОМ ГРАВИИ

Кандидаты техн. наук

Г. П. КУРАСОВА, Р. К. ЖИТКЕВИЧ,

инж. А. С. ИСТОМИН

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН МАРОК 300—500

Действующим до настоящего времени СНиП (главы II-А.10-62 и II-В.1-62) предусмотрено применение легких бетонов на пористых заполнителях марок до 300 и свойства таких бетонов в основном изучены.

Для нормирования же характеристик легких бетонов марок ≥ 300 и проектирования из них конструкций экспериментальных данных еще очень мало.

Практика показала, что должны быть повышены требования к пористым заполнителям для высокопрочных легких бетонов. Так, известно [15], что минимальная прочность керамзитового гравия R_3 должна составлять не менее 0,1 от требуемой марки бетона R_6 . При этом расход цемента может достигать 2 кг на 1 кГ/см^2 прочности бетона. Для получения R_6 без перерасхода цемента, т. е. примерно 1 кг цемента на 1 кГ/см^2 прочности бетона, R_3 должна быть более 0,13 R_6 . Объемный же насыпной вес керамзитового гравия при этом не должен превышать 900 кг/м^3 .

Особое значение имеет достаточная однородность заполнителей как по прочности, так и по объемному весу, поскольку данный показатель не только влияет на однородность бетона, но и вызывает ухудшение его деформативных свойств, повышает ползучесть и понижает долговременную прочность и трещиностойкость в результате возникновения в бетоне очагов опасной концентрации растягивающих напряжений [3].

Более жесткие требования к керамзиту для высоко-

прочных бетонов должны предъявляться и по коэффициенту формы, количеству разрушенных зерен и т. п. Поверхностная корка зерен керамзита также играет существенную роль в формировании прочностных и деформативных характеристик крупного заполнителя. Нарушение верхней оболочки гранул, образующейся при обжиге, приводит к уменьшению предельной прочности 25%, а также к увеличению предельной его сжимаемости на 50% и коэффициента Пуассона до 30%. При этом значительно возрастает также водопоглощение зерен и понижается их морозостойкость [3].

Должны быть повышены требования и к однородности структуры керамзита. Исследованиями [3] установлено, что такие дефекты, как инородные включения, каверны, поверхностные и внутренние трещины и т. п., понижая объемный вес зерен в куске, зачастую незначительно влияют на прочность зерен при сжатии, но резко снижают их прочность на растяжение (до 50%) и модуль упругости (до 60%). Между тем высокопрочные керамзитобетоны, применяемые для изготовления конструкций, работающих в сложном напряженном состоянии, должны характеризоваться повышенным сопротивлением изгибу и растяжению, и поэтому применять керамзитовый гравий неоднородной структуры, снижающий эти показатели, недопустимо.

В лаборатории легких бетонов НИИЖБ в течение последних лет проводится ряд исследований по высокопрочным легким бетонам, изготовленным на высококачественных керамзитах. Одно из них посвящено изучению свойств керамзитобетона марок 300—500, изготовленного из керамзита Волгоградского комбината промышленных конструкций (ВКПК).

Рядовой керамзит, изготавливаемый в Волгограде для бетонов марок до 200, по прочности не соответствовал требованиям, предъявляемым к заполнителям для высокопрочных бетонов [6, 15], в связи с чем пришлось изготовить (с участием НИИ керамзита, освоившего на этом предприятии технологию изготовления высокопрочного керамзита) специальную партию этого материала.

Опытная партия высокопрочного волгоградского керамзита (фракций 5—10 мм) удовлетворяла требованиям к заполнителям для бетонов марок до 500. Основные характеристики его приведены в табл. 1.

Основные свойства волгоградского керамзитового гравия
для высокопрочных бетонов

Характеристика керамзитового гравия	Фракции в мм	
	5—10	10—20
Объемный вес в сухом насыпном состоянии в $кг/м^2$	870	800
Объемный вес зерен в $кг/м^3$	1440	1360
Объем межзерновых пустот в %	39,6	41,2
Прочность при сжатии в цилиндре в $кг/см^2$	64,8	45,2
Коэффициент размягчения	0,80	0,99
Водопоглощение в %	8,8	8,4

Поскольку помимо исследования свойств бетонов мы ставили перед собой конкретную задачу применить такой заполнитель для изготовления большого объема конструкций различной номенклатуры, то возникла необходимость полностью использовать выпускаемый керамзит, в котором содержится около 15—30% песка. Этот песок с объемным весом $\approx 1000 кг/м^3$ не характеризовался нормальной гранулометрией и нуждался в обогащении его мелкими фракциями. С этой целью был использован речной песок с объемным насыпным весом $1540 кг/м^3$ и модулем крупности $M_{кр} = 1,79$, применяемый на ВКПК для изготовления конструкций из тяжелого бетона. Гранулометрия смеси керамзитового и тяжелого песков, взятых в соотношении 1:1 по объему, соответствовала рекомендуемой для обычных бетонов.

Так как большинство конструкций, которые предполагалось изготавливать из керамзитобетона, имели минимальный размер сечения 2,5 и 3 см, то для них подбирались составы на керамзите фракций 5—10 мм и на плотном песке. Фракции же 10—20 мм и 0—5 мм с добавлением тяжелого песка использовались в бетонах марки 300, предназначенных для изделий толщиной не менее 5—6 см. Таким образом при подборе составов керамзитобетона сочетали мелкий керамзит с наибольшей крупностью 10 мм + тяжелый песок и крупный керамзит фракций 10—20 мм + смесь керамзитового и тяжелого песков; составы имели соответственно метки «М» и «К».

Составы бетонной смеси «М» подбирались с двумя показателями жесткости $J \approx 15$ сек и $J = 30 \div 35$ сек; составы «К» имели одну жесткость, $J = 30 \div 40$ сек. Для приготовления бетона использовался портландцемент марки 400 Себряковского завода, активность по ГОСТ 310—60 была 380 кг/см^2 , нормальная густота — 23,5%, начало схватывания 2 ч 45 мин и конец схватывания — 5 ч 35 мин.

Расход керамзита во всех составах принимался равным $\sim 850 \text{ л/м}^3$, поскольку при этом можно получить бетоны с наименьшей усадкой [16]. Расход песка с увеличением количества цемента уменьшали так, чтобы количество растворной части оставалось постоянным, и во всех составах r было близко к 0,5. Из каждого замеса изготавливали по девять кубов размерами $15 \times 15 \times 15 \text{ см}$, три из которых хранили в камере нормального твердения, а шесть после изготовления выдерживали 4—5 ч и затем пропаривали по режиму 3 + 8 + 3 ч; три пропаренных образца испытывали в суточном возрасте на прочность при сжатии, а три хранили до испытания в производственном цехе до 28 суток.

На рис. 1 приведены расход материалов для составов «М» и результаты испытания бетонов из них. На основе приведенных данных можно сделать следующие выводы:

а) при расходе цемента до 400 кг/м^3 прочность бетона при сжатии возрастает пропорционально расходу цемента (при одной и той же консистенции бетонной смеси); при этом прочность бетона нормального твердения несколько выше, чем пропаренного, а при расходе более 500 кг/м^3 — наоборот. Это, очевидно, объясняется тем, что при больших расходах цемента в начальные сроки усадка цементного камня происходит очень быстро и, кроме того, керамзит разбухает, что вызывает растягивающие напряжения в растворной части бетона. В непропаренных образцах прочность растворной части нарастает медленнее, чем в пропаренных, и она может оказаться еще недостаточной для восприятия внутренних растягивающих напряжений. В результате этого в растворе возникают микротрещины, снижающие прочность бетона. Как известно, наличие трещин прежде всего сказывается на прочности при растяжении и водонепроницаемости, которые, как

будет показано ниже, и оказались меньше у непропаренных образцов;

б) прочность бетонов после пропаривания составляет 75—90% от 28-суточной;

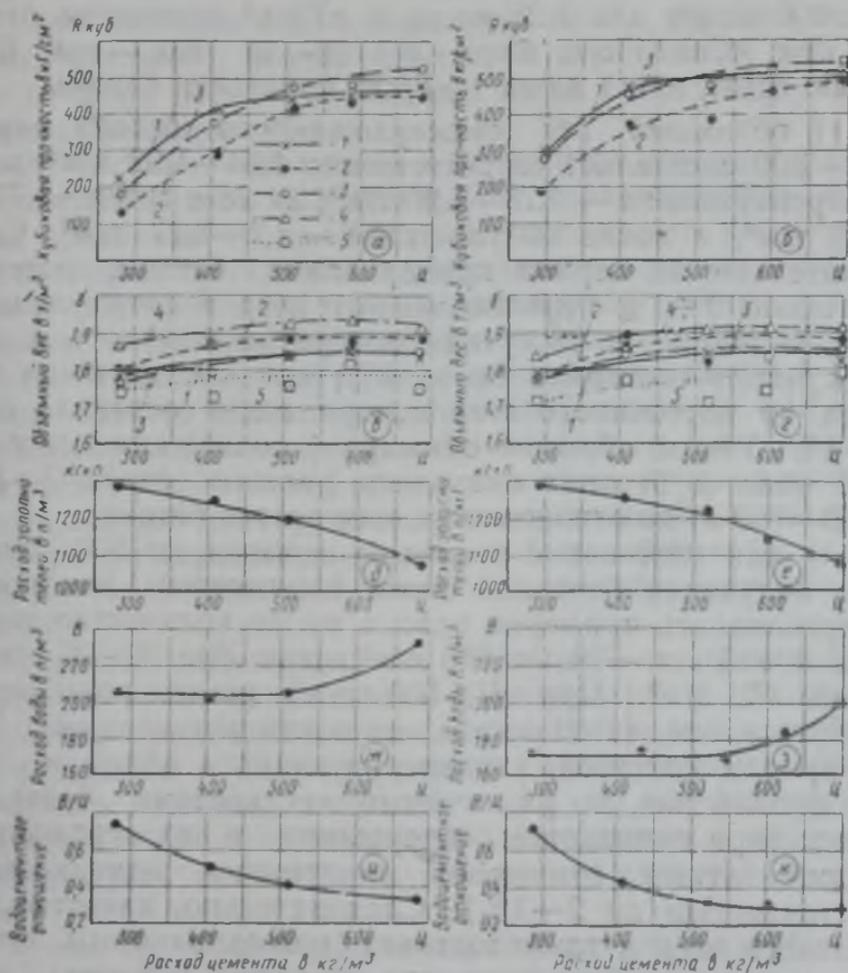


Рис. 1. Изменение прочности бетона $R_{\text{куб}}$, объемного веса бетона γ , расхода керамзитового гравия (+песка) (Π) и воды (B), а также водоцементного отношения B/C в зависимости от расхода цемента (C)

а, в, д, ж, и — для составов с жесткостью бетонной смеси $Ж=15$ сек;
 б, г, е, з, к — то же, с жесткостью $Ж=30 \div 35$ сек; Обозначения на графиках а, б, в, г: 1 — образцы нормального хранения в возрасте 28 суток; 2 — пропаренные образцы в возрасте одних суток; 3 — то же, в возрасте 28 суток; 4 — объемный вес свежесделанной бетонной смеси; 5 — объемный вес высушенного бетона

в) при расходе цемента до 400 кг/м^3 марка бетона нормального твердения (до 400) получена при расходе

0,9—1,1 кг на 1 кг/см² прочности бетона, а для пропаренного бетона от 1,1 до 1,2 кг на 1 кг/см², т. е. в среднем марку бетона до 400 можно получить при расходе цемента марки 400—1 кг на 1 кг/см² прочности бетона. Марка бетона 500 получается при расходе цемента $C \approx 600$ кг/м³, или 1,25 кг на 1 кг/см² прочности бетона при $J \approx 15$ сек, а при $J \approx 30—35$ сек — при $C \approx 500$ кг/м³, или 1 кг на 1 кг/см² прочности бетона;

г) объемный вес свежееуложенного бетона марок 300—500 составляет соответственно 1,84—1,92 т/м³; после пропаривания — 1,78—1,90 т/м³; на 28-е сутки—1,77—1,86 т/м³, а после высушивания — 1,7—1,77 т/м³. Следовательно, за период пропаривания бетоны потеряли около $3 \div 1\%$ первоначального веса в свежееуложенном состоянии; к 28 суткам потери выравнялись и для всех марок составили около 4%; при высушивании бетона до постоянного веса потеря воды составила еще 3—4%. Таким образом суммарное содержание свободной воды в бетонах оказалось равным около 7—8% (130—150 л) по отношению к весу сухого бетона;

д) для составов с расходом цемента до 500 кг/м³ для получения бетонной смеси одинаковой жесткости потребовалось примерно одно и то же количество воды: при $J \approx 15$ сек — около 205 л/м³, а при $J \approx 30—35$ сек — около 170 л/м³. При $C > 500$ кг/м³ расход воды резко увеличивался, а B/C оставалось почти неизменным;

е) для составов, характеризующихся одной и той же прочностью, но различными жесткостями бетонной смеси (при одинаковом содержании в них керамзита), водоцементные отношения получились одинаковыми (с точностью до 2—3%). Следовательно, качество цементного клея в таких составах было одинаковым. Количество же его (определяемое расходом цемента) при $J \approx 15$ сек большее, а расход песка меньший, чем в составах с $J \approx 30—35$ сек, что существенно влияет на деформативные свойства растворной части, а следовательно, и бетона, если он имеет даже примерно одинаковую прочность при разном значении жесткости [17]. Так, например, растворы с одинаковым B/C , но содержащие больше цементного клея, а следовательно, меньше кварцевого песка, имеют меньшие модули упругости, поскольку содержат меньше более высокомодульного составляющего — песка; то же самое относится к ползучести и ряду других свойств. Таким образом,

влияние жесткости смеси на свойства бетонов при одинаковой их прочности, рассматриваемых далее, объясняется различием свойств растворных частей таких бетонов, содержащих неодинаковое количество цементного клея и песка*.

Для составов «К» характерна та же картина с той лишь разницей, что их прочность и объемный вес были меньше, поскольку меньше были соответствующие показатели керамзита.

Из составов «М» были изготовлены образцы керамзитобетона марок 300, 400 и 500, характеристики которых приведены на графиках. Исследовались следующие их свойства: прочность и деформации при осевом сжатии и растяжении, а также при изгибе; усадка и ползучесть, морозостойкость, водонепроницаемость, истираемость. При этом изучались пропаренные бетоны составов «М» с жесткостью бетонной смеси $J \approx 15$ сек, поскольку основными видами изделий из высоких марок бетона являются пропариваемые предварительно напряженные конструкции, в которых наибольший размер гранул керамзита не может быть более 10 мм и жесткость бетонных смесей не должна превышать 20 сек.

Образцы одного состава марки 400 не только пропаривались, но и хранились в нормальных условиях. Образцы, предназначенные для сопоставления свойств пропаренного и непропаренного бетона, изготавливали из одного замеса, а потом часть из них подвергали тепловой обработке, после чего ее хранили в цехе, а другую часть помещали в камеру нормального твердения.

Кроме того, изучались свойства керамзитобетона марки 400 из состава «К» с жесткостью 30—40 сек.

Все свойства бетона каждого состава определяли на образцах, изготовленных из одного и того же замеса. Образцы группировали в серии таким образом, чтобы средний объемный вес каждой отличался от среднего объемного веса всех образцов не более чем на ± 20 кг/м³. Каждую характеристику определяли как среднее арифметическое из результатов испытания серии

* *Примечание ред.* Вопрос о влиянии жесткости легкобетонной смеси на свойства бетона, как это видно из статьи, требует дальнейших исследований.

Составы и основные характеристики испытанных бетонов

Шифр состава	Расход материалов на 1 м ³ бетона					В/Ц	Фактическая жесткость бетонной смеси (Ж) в сек	Объемный вес свежесушеной бетонной смеси (γ _{см}) в т/м ³	Условия твердения бетона	Прочность образцов на сжатие на 28-е сутки (R) в кг/см ²	Объемный вес бетона на 28-е сутки (γ _б) в т/м ³	Объемный вес бетона в сухом состоянии (γ _{б.с}) в т/м ³	Весовая влажность бетона в возрасте 28 суток (W) в %
	цемента (Ц) в кг	керамзита* (К)	песка (П)*		воды (В), в л								
			тяжелого	керамзитового									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
300 «М»	342	670	635	—	197	0,57	18	1,84	Пропаривание Камера нормального твердения	324	1,76	1,70	3,0
		835	402	338									
400 «М»	423	675	595	—	194	0,46	14	1,89	Пропаривание Камера нормального твердения	431	1,81	1,73	3,8
		845	876	399									
500 «М»	587	665	460	—	210	0,356	13,5	1,92	Пропаривание Камера нормального твердения	547	1,90	1,77	4,0
		830	294	528									
400 «К»	417	633	387	259	178	0,43	35	1,87	Пропаривание Камера нормального твердения	430	1,82	Не определяли	
		853	245	255						465		1,83	Не определяли

* Над чертой — расход заполнителей дан в кг, под чертой — в л.

из 2—3 образцов-близнецов. Составы испытанных бетонов и их основные характеристики приведены в табл. 2.

Образцы, как правило, испытывали в возрасте 28—30 суток. В тех случаях, когда какую-либо характеристику определяли в более позднем возрасте (например, призмы по техническим причинам испытывали в возрасте 40—60 суток), то одновременно на том же прессе испытывали кубы, по отношению к которым определяли коэффициент призмной прочности

$$K_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{пр}}}{R_{\text{куб}}}$$

При этом площадь поперечного сечения призм и кубов была одинаковой. Призмную прочность для всех марок определяли на образцах $15 \times 15 \times 60$ и $10 \times 10 \times 40$ см, что позволяло выявить влияние размеров образцов на этот показатель. Соответственно испытывались также кубы с размером ребра 15 и 10 см.

Призмы на осевое сжатие испытывали с центрированием; нагрузку прикладывали ступенчато, примерно по 0,1 от разрушающей. Выдержки на каждой ступени нагружения составили по 5 мин. Измерение как продольных, так и поперечных деформаций производили электротензодатчиками сопротивления с базой 50 и 100 мм соответственно для призм длиной 40 и 60 см.

Отношение $\frac{R_{\text{пр}}}{R_{\text{куб}}}$ при поперечном сечении 15×15 см составило для марок бетона 300, 400 и 500 соответственно 0,78; 0,84 и 0,825 или в среднем 0,82, а для призм $10 \times 10 \times 40$ см соответственно 0,96; 0,89 и 0,795 или в среднем 0,88. Аналогичная величина для марки 400 перепаренного бетона на образцах $10 \times 10 \times 40$ см оказалась равной 0,88, т. е. практически условия твердения не сказались на призмной прочности бетона. Таким образом, $K_{\text{пр}}$ для образцов с площадью поперечного сечения 10×10 см оказался несколько больше, чем при сечении 15×15 см.

Отношение $\frac{R_{\text{пр}}}{R_{\text{куб}}}$, полученное на призмах $15 \times 15 \times 60$ см, в данном эксперименте было несколько ниже, чем приводимое в работах [4, 10], где оно равно в среднем приблизительно 0,9. Мы склонны объяснить это тем, что в нашем эксперименте кубы с ребром 15 см

изготавливали в специальных формах (с толстыми стенками), позволяющих получить ровные опорные поверхности с отклонениями от плоскости не более 0,1 мм. Прочность кубов, изготавливаемых в формах с тонкими стенками, неизбежно коробящимися со временем и от пропарки, по сравнению с изготовленными в формах с толстыми стенками на 10—30% ниже, что приводит соответственно к завышению $K_{пр}$. Вполне возможно, что одной из причин часто наблюдающихся случаев, когда $K_{пр} > 1$, является заниженное значение $R_{куб}$ из-за плохих форм кубов и больших искривлений их опорных поверхностей.

Для бетона марки 400 из серии «К» отношение $\frac{R_{пр}}{R_{куб}}$ составило около 0,9, т. е. было несколько больше, чем для составов «М», и приближалось к среднестатистическому значению $K_{пр}$ для керамзитобетона марок до 350 [10].

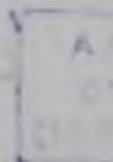
Из бетонов тех же составов, для которых определяли $R_{пр}$, были изготовлены и испытаны балочки $15 \times 15 \times 60$ см с целью определения R_p^H . Для перехода от данного показателя к R_p испытывали на осевое растяжение призмы размером $15 \times 15 \times 60$ см из составов марок 300 и 500, что позволяло найти отношение $\frac{R_p^H}{R_p}$.

Для проведения опытов в призмы забетонировывали закладные части, к которым перед испытанием на растяжение присоединяли тяги, имеющие шарниры в двух плоскостях.

Призмы испытывали на растяжение в горизонтальной разрывной машине (рис. 2), предварительно их центрировали. Испытание на растяжение проводили по методике, подобной применяемой при определении призмной прочности.

Балочки $15 \times 15 \times 60$ см испытывали на изгиб в соответствии с ГОСТ 10180—67. Для контроля равномерности деформаций по середине балочек на их нижнюю грань наклеивали по краям два датчика. При плотном прилегании опорной грани к опорным валикам деформации с обеих сторон, как правило, были одинаковыми.

Отношение $\frac{R_p^H}{R_{куб}}$ для марок 300, 400 и 500



пропаренного бетона из составов «М» оказалось равным соответственно 0,09; 0,08 и 0,07 или в среднем 0,08; для марки 400 непропаренного бетона — 0,056, т. е. примерно на 30% меньше, чем для пропаренного бетона.

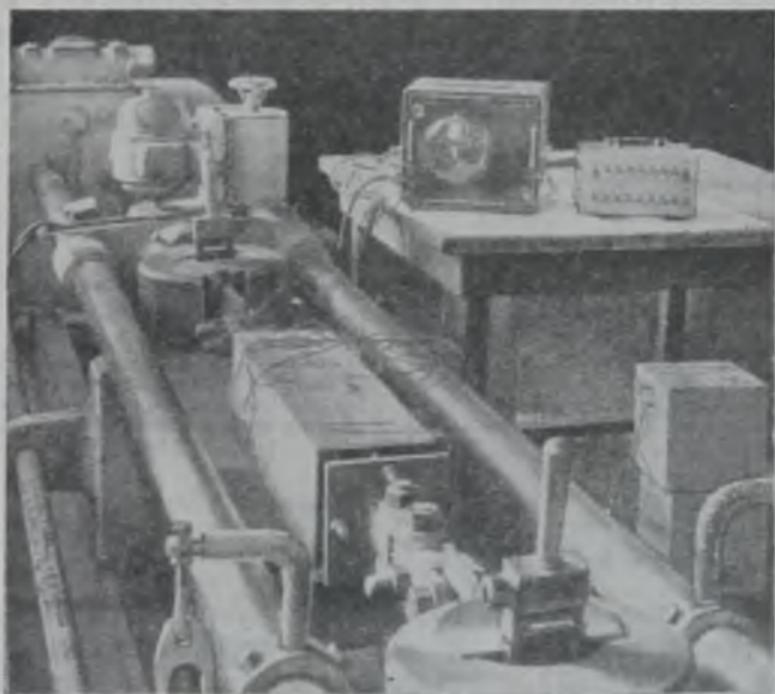


Рис. 2. Испытание призм на осевое растяжение в горизонтальной разрывной машине

В проведенных ранее исследованиях этого не наблюдалось, что подтверждает высказанное ранее предположение о появлении в непропаренном бетоне в начальной стадии структурообразования усадочных микротрещин.

Для пропаренного бетона марки 400 из составов «К» отношение $\frac{R_p^H}{R_{куб}}$ равно 0,08, т. е. такое же, как и аналогичного бетона состава «М».

Отношение $\frac{R_p^H}{R_p}$ для марок 300 и 500 составило соответственно 1,68 и 1,74, т. е. близко к опубликованным данным по керамзитобетону [14], и среднее значение его может быть принято равным 1,7. Исходя

из этого переходного коэффициента, были определены значения R_p для марки 400 по величинам $R_{p}^н$.

Отношение $\frac{R_p}{R_{к\cdot б}}$ для пропаренного керамзитобетона марок 300, 400 и 500 составов «М» равно соответственно 0,053; 0,047 и 0,041, а для состава «К» марки 400—0,048, т. е. находится между нормативными и расчетными значениями $\frac{R_p}{R_{к\cdot б}}$ по СНиП (см. рис. 3).

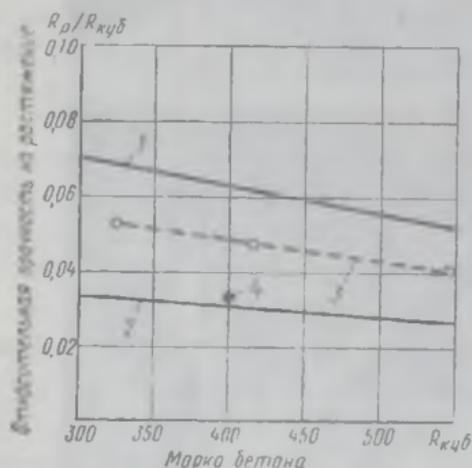


Рис. 3. Зависимость $R_p/R_{к\cdot б}$ от марки бетона

1 — нормативные значения по СНиП; 2 — расчетные значения по СНиП; 3 — экспериментальные значения для пропаренного бетона; 4 — то же, для непропаренного бетона состава 400 «М»

Это примерно на 20% ниже нормируемых показателей для тяжелого бетона. В работах отдельных исследователей [9, 10, 13] отмечалось, что для высокопрочных легких бетонов характерно пониженное значение R_p по сравнению с тяжелыми. Видимо, это следует учесть в будущем при переиздании глав СНиП (II-A.10-62 и II-B.1-62).

Отношение $\frac{R_p}{R_{к\cdot б}}$ для непропаренного керамзитобетона марки 400 составило 0,033, что очень близко к расчетному сопротивлению. Это обстоятельство, безусловно,стораживает и требует специального исследования влияния пропаривания и других технологических факторов на величину R_p .

При испытании призм определяли также модули упругости и предельную деформативность бетонов при сжатии и растяжении. В табл. 3 и на рис. 4 приведены средние для серий результаты, из которых можно сделать следующие выводы:

а) модули упругости керамзитобетона при сжатии

Прочностные и деформативные характеристики керамзитобетона при статическом испытании призм и балочек

Шифр состава	Условия твердения бетона и прочность на 28-е сутки кубов $15 \times 15 \times 15$ см при сжатии в кг/см^2	Размер образцов (призм и балочек) в см	Испытание призм на сжатие					Испытание призм на осевое растяжение			Пределная растяжимость $[\epsilon]_p$ в мм/м	Испытание балочек на изгиб			$\frac{R_{ip}}{R_p}$
			возраст образцов в сутках	$R_{пр}$	модуль упругости $E_{сж}$ в тыс. кг/см^2	пределная сжимаемость $[\epsilon]$ в мм/м	коэффициент Пуассона μ	возраст образцов в сутках	R_p	модуль упругости E_p в тыс. кг/см^2		возраст образцов в сутках	R_{ip}	пределная растяжимость $[\epsilon]_p$ в мм/м	
				$R_{куб}$					$R_{куб}$				$R_{куб}$		
300 «М»	Пропаривание $R_{28} = 324$	$15 \times 15 \times 60$	60	0,78	178	2,03	0,17	39	0,053	177	0,10	43	0,09	0,26	1,68
		$10 \times 10 \times 40$	42	0,96	196	2,30	0,17	—	—	—	—	—	—	—	—
400 «М»	Пропаривание $R_{28} = 431$	$15 \times 15 \times 60$	40—42	0,84	195	2,29	0,17	—	0,047	—	—	29	0,08	0,26	—
		$10 \times 10 \times 40$	39—41	0,89	194	2,03	0,20	—	—	—	—	—	—	—	—
400 «М»	Нормальное хранение $R_{28} = 399$	$15 \times 15 \times 60$	—	—	—	—	—	—	0,033	—	—	29	0,056	0,12	—
		$10 \times 10 \times 40$	39	0,88	228	1,78	0,19	—	—	—	—	—	—	—	—
500 «М»	Пропаривание $R_{28} = 547$	$15 \times 15 \times 60$	46—47	0,82	214	2,28	0,19	27	0,041	187	0,11	29	0,07	0,21	1,74
		$10 \times 10 \times 40$	48	0,79	226	2,06	0,20	—	—	—	—	—	—	—	—
400 «К»	Пропаривание $R_{28} = 430$	$15 \times 15 \times 60$	28	0,90	220	2,00	0,21	—	0,048	—	—	28	0,08	—	—

$E_{сж}$ практически не зависят от размеров образцов и увеличиваются для марок 300—500 с 170 000 до 210 000 $кГ/см^2$, при этом значения модулей упругости при растяжении несколько меньше, чем при сжатии (на 3—12%).

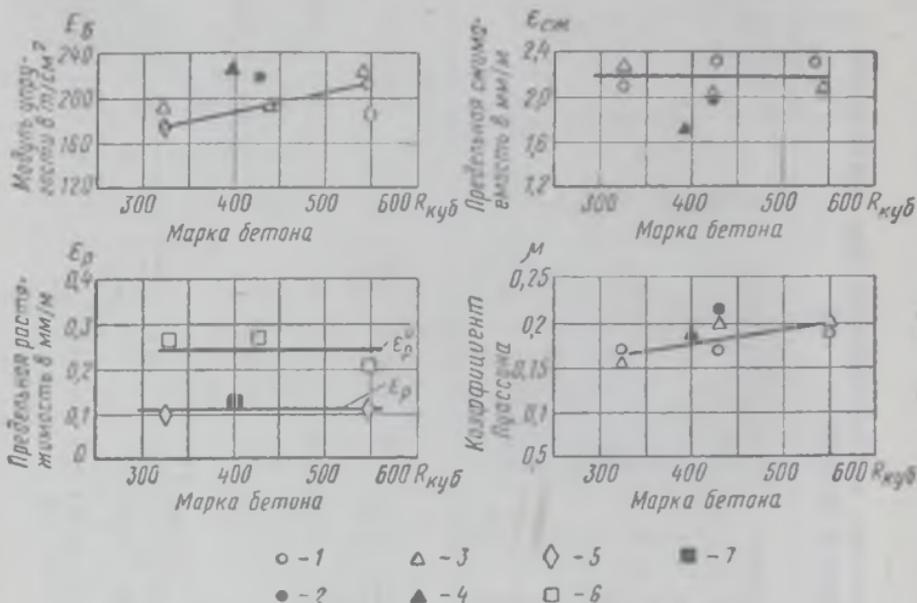


Рис. 4. Зависимость деформативных свойств керамзитобетона от его прочности

1, 2 — призмы $15 \times 15 \times 60$ см, испытанные на сжатие; 3, 4 — призмы $10 \times 10 \times 10$ см, испытанные на сжатие; 5 — призмы $15 \times 15 \times 60$ см, испытанные на растяжение; 6, 7 — балочки $15 \times 15 \times 60$ см, испытанные на изгиб; 1, 3, 5, 6 — пропаренный бетон состава «М»; 2 — пропаренный бетон состава «К»; 4, 7 — непропаренный бетон состава «М»

Значения E получены для керамзитобетона марок 300—500 ниже нормируемых [11]. Это в какой-то степени можно объяснить влиянием пропаривания бетона. В экспериментах, описываемых в работе [4], снижение E за счет этого фактора составляло около 20%. Это же подтверждается и результатами испытания бетона марки 400, хранившегося в нормальных условиях, модуль упругости которого на 17% выше, чем у пропаренных образцов.

Модуль упругости бетона состава 400 «К» оказался равным 220 000 $кГ/см^2$, несмотря на то, что его также пропаривали. Очевидно, это объясняется некоторым влиянием жесткости бетонной смеси, которая у состава 400 «К» характеризовалась показателем $Ж \approx 30 \div 40$ сек, а у состава 400 «М» — около 15 сек. Приведенные ре-

зультаты свидетельствуют о необходимости дальнейшего специального изучения влияния состава бетона и других технологических факторов на модули упругости легких бетонов;

б) предельная сжимаемость образцов $15 \times 15 \times 60$ и $10 \times 10 \times 40$ см $[\epsilon_{сж}]$ для составов «М» оказалась практически одинаковой и не менялась с увеличением марки бетона (см. рис. 4), как это отмечалось в некоторых работах [4, 10, 15]. Весьма близко к величине предельной сжимаемости составов «М» значение $[\epsilon_{сж}]$ для состава 400 «К». Среднее для всех составов значение $[\epsilon_{сж}]$ составило 2,2 мм/м.

Для непропаренного бетона состава 400 «М» $[\epsilon_{сж}] \approx 1,8$ мм/м, т. е. примерно на 20% менее, чем для пропаренных;

в) предельная растяжимость при изгибе $[\epsilon_p^*]$ в среднем в два раза больше, чем при осевом растяжении $[\epsilon_p]$ и практически не зависит в наших опытах от марки бетона: для пропаренного бетона $[\epsilon_p^*]$ в среднем равна 0,24 мм/м, а $[\epsilon_p] \approx 0,11$. Образцы нормального хранения имели предельную растяжимость при изгибе $[\epsilon_p^*] = 0,12$ мм/м, т. е. в два раза меньше, чем пропаренные. Как указывалось ранее, прочность на растяжение непропаренного бетона также оказалась значительно меньше (на 40%), чем пропаренного;

г) коэффициент Пуассона μ практически получился одинаковым при испытании образцов $15 \times 15 \times 60$ и $10 \times 10 \times 40$ см. В исследованных составах 300 «М», 400 «М» и 500 «М» наблюдалась некоторая тенденция к его возрастанию с увеличением марки бетона: от 0,165 до 0,195, но в среднем он равнялся 0,18. Значение μ для непропаренного бетона состава 400 «М» лежит в области разброса экспериментальных данных для пропаренного бетона. Для состава 400 «К» значение $\mu = 0,21$, или примерно на 15% выше, чем для составов 400 «М», что объясняется, видимо, влиянием большей поперечной деформативности крупного заполнителя по сравнению с более мелким.

Таким образом, полученные нами данные позволяют сделать вывод о том, что на деформативные свойства керамзитобетона при статическом нагружении очень большое влияние оказывают состав бетона и условия его твердения.

Из бетона испытываемых составов «М» были изготовлены призмы размером $15 \times 15 \times 60$ см для определения ползучести и усадки. Непропаренные бетоны этому испытанию не подвергались, поскольку предварительно напряженные конструкции, для которых определялись указанные характеристики, без пропаривания не изготавливаются.

По две призмы каждого состава испытывали в одной пружинной установке начиная с 28-суточного возраста и загружали образцы усилием $\sim 0,3 R_{пр}$. Усадку определяли начиная также с 28 суток, по двум незагруженным близнецам. Деформации на базе 400 мм измеряли съемным деформометром с индикатором часового типа и точностью деления 0,002 мм. На рис. 5

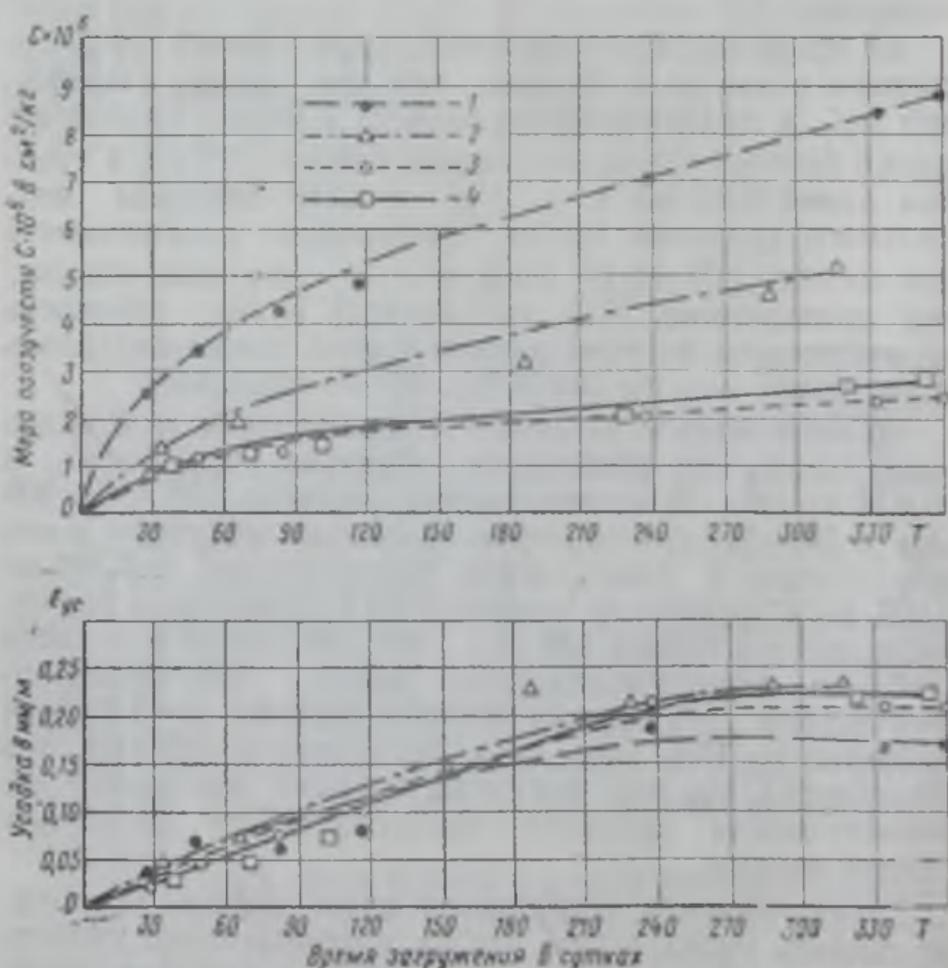


Рис. 5. Ползучесть и усадка керамзитобетона марки 300—500

1 — состав 300 «М»; 2 — состав 400 «М»; 3 — состав 400 «К»; 4 — состав 500 «М»

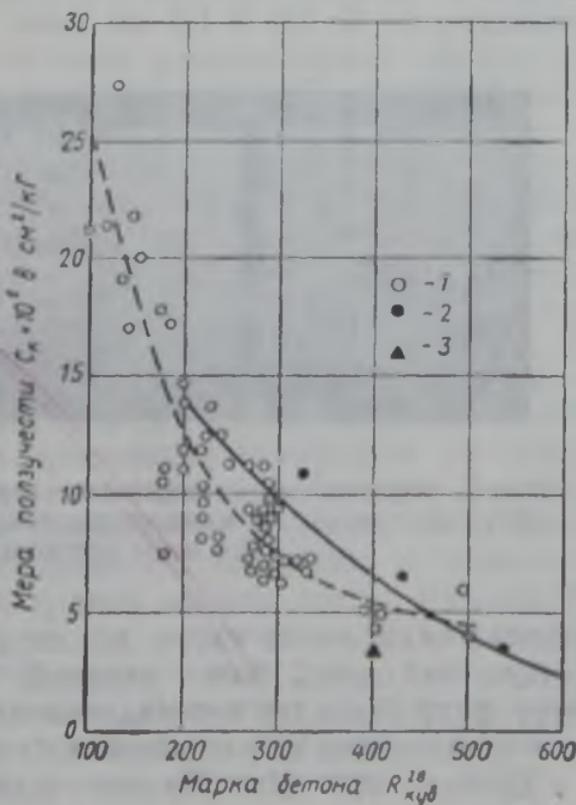
приведены графики замеренных деформаций ползучести, отнесенных к напряжению в 1 кг/см^2 (мера ползучести), и даны значения усадки бетонов исследованных составов.

Из кривых рис. 5 видно, что мера ползучести S закономерно уменьшается по мере возрастания марки бетона. При этом для бетона 400 «К» величины S меньше, чем для состава 400 «М», что объясняется, видимо, большей жесткостью состава 400 «К». Так же как и модули упругости (см. табл. 3), значения S для состава 400 «К» совпадают с величинами S для состава 500 «М».

Исходя из литературных данных [12], можно ожидать, что конечная ползучесть S_k исследуемых нами керамзитобетонов будет примерно в 1,1—1,3 раза больше, чем замеренная в возрасте 10—12 месяцев, т. е. для составов «М» 300, 400 и 500 она может достичь значений соответственно 11,0; 6,5 и $3 \times 10^{-6} \text{ см}^2/\text{кг}$, что весьма близко к экспериментальным значениям, полученным для тяжелого и керамзитового бетонов таких же марок (рис. 6).

Рис. 6. Зависимость меры ползучести S_k тяжелого и керамзитового бетонов от их прочности $R_{\text{куб}}$.

1 — экспериментальные данные для керамзитобетона по опубликованным работам (А. П. Коровкина, А. А. Кудрявцева, С. Е. Фрайфельда, И. Н. Серегина, А. В. Черкашина и Р. К. Житкевич); 2 и 3 — прогнозируемые значения S_k по результатам измерения S в годичном возрасте по экспериментам авторов настоящей статьи для составов соответственно «М» и «К»
 — — — — — среднестатистическая зависимость $S_k = f(R_{\text{куб}})$ для керамзитобетона;
 — — — — — то же, для тяжелого бетона по данным И. Н. Серегина [12]



Усадка бетонов всех составов «М» была примерно одинаковой и достигла за 10—12 месяцев величины 0,20—0,25 мм/м (рис. 5,б). Характер кривых свидетельствует о том, что дальнейший прирост усадки может и не наблюдаться, т. е. $\epsilon_{ус}$ керамзитобетона такого же порядка, как и для тяжелого бетона.

Помимо прочностных и деформативных свойств исследовались такие весьма важные для высокопрочных бетонов свойства, как водонепроницаемость, морозостойкость и истираемость.

Водонепроницаемость бетонов исследовалась на образцах цилиндрической формы высотой и диаметром по 15 см. Давление повышалось через каждые 8 ч на 1 ат до наибольшей величины, нормируемой для бетонов, — 12 ат (изб.). Через 96 ч испытания ни через один образец из всех исследованных керамзитобетонных составов вода не просочилась, т. е. по водонепроницаемости они могут быть отнесены к наивысшей марке В-12.

Для выявления качественного различия в структуре бетона образцы после испытания раскалывали и измеряли высоту подъема воды. Для пропаренного бетона составов 300 «М», 400 «М» и 500 «М» она составила соответственно 6; 3,5 и 1,2 см (рис. 7), а для непропа-



Рис. 7. Образцы из пропаренного керамзитобетона составов «М», испытанные на водонепроницаемость (область проникновения воды затемнена)

ренного — около 14 см, т. е. структура пропаренного бетона оказалась более плотной, чем непропаренного. Этот факт оказался неожиданным, но он подтверждается и испытанием на растяжение.

Состав 400 «К», также выдержавший давление

12 ат (изб.), был испытан затем под давлением в 20 ат (изб.) в течение 8 ч, после чего расколот. Высота подъема воды в срезе составила около 11 см, т. е. более чем в составе 400 «М» при 12 ат (изб.), что может быть объяснено как более высоким давлением, так и большей пористостью растворной части, приготовленной на смеси керамзитового и тяжелого песков.

Испытанию на морозостойкость подвергались образцы $10 \times 10 \times 10$ см по режиму 4+4 ч. Температура замораживания была минус 15°C , а оттаивания — плюс $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Результаты испытания на морозостойкость приведены в табл. 4.

Данные таблицы позволяют сделать следующие выводы: наименьшее значение коэффициента морозостойкости после 300 циклов равно $K_{\text{Мрз}} = 0,96$, т. е. все бетоны имеют марку по $\text{Мрз} > 300$. Сопоставление значений $K_{\text{Мрз}}$ для исследованных составов показало, что он практически не зависит от марки бетона. Пропаренный бетон имеет больший $K_{\text{Мрз}}$, чем непропаренный, а состав 400 «М», характеризующийся большей подвижностью бетонной смеси, имел больший $K_{\text{Мрз}}$, чем состав 400 «К».

В общем же все составы удовлетворяют требованиям по морозостойкости, предъявляемым к гидротехническому бетону марки по морозостойкости $\text{Мрз} 300$.

Испытание на истираемость производилось на кубах с ребром 7,07 см в соответствии с ГОСТ 13087—67. Все образцы истирались нижней по ходу бетонирования поверхностью, а составы «М» также и верхней поверхностью, поскольку в различных конструкциях истиранию могут подвергаться как те, так и другие грани. В табл. 5 приведены результаты испытаний на истираемость, причем в графах 4 и 6 уменьшение высоты образцов вычислено по среднеарифметическим значениям фактических замеров по четырем боковым граням. Поскольку истираемые поверхности довольно часто имеют значительные отклонения от плоскости, и замеренные по осям боковых граней высоты могут оказаться не средними для них, то для получения фактических средних значений истираемости они были вычислены по потерям в весе образцов. При этом процент уменьшения высоты принимался равным проценту уменьшения веса. Полученные таким образом данные истира-

Результаты испытания керамзитобетона на морозостойкость

Шифр состава	Условия твер- дения бетона	Предел прочности при сжатии водона- сыщенных образцов перед началом замора- живания в кг/см^2	Количество циклов замораживания и оттаивания								
			100			200			300		
			предел прочности при сжатии в кг/см^2		Кoeffи- циент морозо- стойкости $K_{\text{Мрз}} = \frac{R_{\text{м. куб}}}{R_{\text{куб}}}$	Предел прочности при сжатии в кг/см^2		коэффи- циент морозо- стойкости $K_{\text{Мрз}} = \frac{R_{\text{м. куб}}}{R_{\text{куб}}}$	предел прочности при сжатии в кг/см^2		коэффи- циент морозо- стойкости $K_{\text{Мрз}} = \frac{R_{\text{м. куб}}}{R_{\text{куб}}}$
			после замора- живания $R_{\text{м. куб}}$	конт- рольных образ- цов* $R_{\text{куб}}$		после замора- живания $R_{\text{м. куб}}$	конт- рольных образ- цов* $R_{\text{куб}}$		после замора- живания $R_{\text{м. куб}}$	конт- рольных образ- цов* $R_{\text{куб}}$	
300 «М»	Пропаривание	208	274	241	1,13	298	257	1,16	289	279	1,03
400 «М»	То же	333	422	387	1,09	402	365	1,10	406	388	1,16
400 «М»	Нормальное хранение	383	385	382	1,01	393	410	0,96	360	400	0,9
500 «М»	Пропаривание	400	399	366	1,09	450	412	1,09	467	445	1,05
400 «К»	То же	327	333	314	1,06	352	340	1,03	342	340	1,00

* Прочность контрольных образцов определялась в таком же возрасте.

Результаты испытаний керамзитобетона на истираемость

Шифр состава	Условия твердения бетона	Истираемость верхней поверхности в мм		Истираемость нижней поверхности в мм	
		по изменению высоты образцов	по изменению веса образцов	по изменению высоты образцов	по изменению веса образцов
1	2	3	4	5	6
300 «М»	Пропаривание	6,6	7,0	5,0	5,2
400 «М»	Пропаривание	5,0	5,5	4,0	4,8
400 «М»	Нормальные	5,4	5,8	4,2	5,2
500 «М»	Пропаривание	6,2	6,0	5,0	4,9
400 «К»	То же	4,1	4,9	—	—

емости приведены в графах 4 и 6. Как видно из табл. 5, эти результаты несколько больше, чем полученные непосредственным измерением высот и, по нашему мнению, более правильные. У тяжелых бетонов на гранитном щебне показатель истираемости равен 3—4 мм.

Данные табл. 5 позволяют сделать следующие выводы: истираемость с увеличением марки керамзитобетона с 300 до 500 имеет тенденцию к уменьшению, но незначительную: от 5,2 до 4,9 мм при истирании нижней поверхности образцов и от 7 до 6 мм при истирании верхней поверхности. Несущественной оказалась разница между истираемостью пропаренного и непропаренного бетона, но все же истираемость пропаренного бетона меньше, чем непропаренного.

Разница в истираемости между составами 400 «М» и 400 «К» несколько больше (около 1 мм), т. е., видимо, и на эту характеристику подвижность бетонной смеси оказывает определенное влияние. Наиболее существенной оказалась разница в истираемости верхней и нижней поверхностей бетона — около 20—25%.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Керамзитобетон марок 300—500, так же как и

марок до 300, имеет повышенные по сравнению с нормируемыми для тяжелого и легкого бетонов значения $\frac{R_{сп}}{R_{куб}}$ (около 20%). Причина данного явления пока еще полностью не установлена. Необходимы дальнейшие исследования.

2. Модули упругости E пропаренного керамзитобетона оказались на 25—30% ниже, чем среднестатистические [10]. Это может быть объяснено, во-первых, пропариванием, приводящим к снижению модуля упругости примерно на 20% [4] и, во-вторых, тем, что для изготовления керамзитобетона в наших опытах использовался более высокопрочный керамзит. Поэтому бетон высоких марок получался у нас при меньших расходах цемента, а следовательно, и при меньших прочностях растворной части.

По мере же уменьшения прочности, а следовательно, и модуля упругости растворной части увеличивается влияние керамзита с более низкими значениями E , чем у раствора.

3. Ползучесть и усадка керамзитобетона марок 300—500 практически такие же, как и у тяжелого бетона аналогичных марок.

4. Исследованные составы имеют марку по водонепроницаемости «В-12», по морозостойкости $M_{рз} > 300$, истираемость их почти не зависит от марки и составляет в среднем 4,5 мм для нижних поверхностей образцов и около 6 мм для верхних.

Прочность на растяжение, предельная растяжимость и сжимаемость, водонепроницаемость и морозостойкость у пропаренных бетонов оказались выше, чем у непропаренных, а истираемость ниже.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аракелян А. А. Применение легких бетонов в гидротехническом строительстве. «Бетон и железобетон», 1968, № 5.
2. Бужевич Г. А. и Корнев Н. А. Керамзитожелезобетон, Стройиздат, 1963.
3. Житкевич Р. К. Исследование работы крупного заполнителя при осевом сжатии конструктивного керамзитобетона. Автореферат кандидатской диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., 1969.
4. Иванов-Дятлов И. Г., Агеев Д. Н., Зверев С. А., Коновалов С. В., Курасова Г. П., Почтовик Г. Я., Радкевич Б. Л., Щеканенко Р. А. Применение керамзитобетона в дорожно-мостовом строительстве, Автотрансиздат, 1963.

5. Израелит М. М., Вейнер Б. Б. Предварительно напряженные конструкции из высокопрочного аглопоритобетона. «Бетон и железобетон», 1968, № 5.

6. Инструкция по изготовлению изделий из новых видов легких бетонов (конструктивных и высокопрочных, поризованных, на вспученных перлитовых песках и с применением кремнийорганических добавок), Стройиздат, 1966.

7. Каландадзе В. Ш. Опоры линий электропередач для горных районов. «Бетон и железобетон», 1968, № 5.

8. Кац К. М., Румянцева Л. А. Конструктивный керамзитобетон для морских гидротехнических сооружений. «Бетон и железобетон», 1968, № 5.

9. Корнев Н. А., Кудрявцев А. А., Кузнецова Н. Н. Прочностные и деформативные свойства конструктивных легких бетонов. «Бетон и железобетон», 1967, № 3.

10. Курасова Г. П. Свойства конструктивного и высокопрочного керамзитобетона марок 200—500. «Легкие и ячеистые бетоны и конструкции из них», Научная сессия НИИЖБ, 1968, ИЭМ ЦИНИС Госстроя СССР, 1969.

11. Рекомендации по проектированию конструкций из легких бетонов. Стройиздат, 1969.

12. Серегин И. Н. Ползучесть бетона в дорожно-мостовых сооружениях. «Транспорт», 1965.

13. Симонов М. З., Евсеева С. Н. Прочность легкого бетона на растяжение. «Бетон и железобетон», 1966, № 10.

14. Симонов М. З. Бетон и железобетон на пористых заполнителях. Стройиздат, 1955.

15. Технические указания по проектированию и изготовлению конструкций автодорожных и городских мостов из керамзитобетона. ВСН 114—65, Оргтрансстрой, 1965.

16. Тихонов С. П. Исследование усадки высокопрочных легких бетонов на пористых заполнителях. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук М. 1969.

17. Френкель И. М. Основы технологии тяжелого бетона. Стройиздат, 1967.

*Канд. техн. наук Л. И. КАРПИКОВА,
инж. К. М. КАЦ*

КОНСТРУКТИВНЫЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА НА СЕВЕРЕ

Практика легкогобетонного строительства в зимнее время и в условиях Крайнего Севера выдвигает перед технологами ряд вопросов, связанных с использованием керамзитобетонной смеси, подмороженной при транспортировании к месту укладки или при других обстоятельствах. Кроме того, необходимо знать, как влияет раннее замораживание смеси и низкие отрицательные температуры на некоторые характеристики керамзито-

бетона и как изменяются они при введении в смесь химической добавки, повышающей морозостойкость.

В лаборатории легких бетонов НИИЖБ были выполнены соответствующие исследования, результаты которых приводятся в настоящей статье.

Известно, что замораживание свежееуложенного тяжелого бетона разрушает его структуру и резко ухудшает основные его свойства. В частности, при замораживании, в местах седиментационных полостей, под зернами тяжелых заполнителей образуются прослойки льда, нарушающие сцепление между заполнителем и растворной частью бетона. Это является основной причиной падения прочности и водонепроницаемости бетона, замороженного в раннем возрасте [1, 2]. Особенностью же цементного камня при замораживании в раннем возрасте является то, что мороз влияет на него в значительно меньшей степени, чем на бетон, а при определенных условиях раннее замораживание приводит даже к некоторому повышению его конечной прочности [2].

Более высокая структурная однородность системы пористой цементный камень — пористый заполнитель, чем системы пористый цементный камень — плотный заполнитель и отсутствие седиментационных полостей в конструктивном керамзитобетоне позволяют предполагать, что раннее замораживание скажется на его свойствах в меньшей степени. Однако опытных данных, подтверждающих это положение, еще очень мало.

Таблица 1

Свойства примененных керамзитов

Керамзитовый гравий завода	Объемный насыпной вес в кг/м³	Прочность при сжатии в цилиндре в кг/см²	Водопоглощение по весу за 48 ч в %	Морозостойкость в циклах
Бескудниковского:				
фракции 5—10 мм . .	537	22,3	23,1	62
» 10—20 » . .	525	24,2	16,3	52
Лианозовского:				
фракции 5—10 мм . .	687	39,8	26,6	5
» 10—20 » . .	628	33,0	26,1	5
Дубровского:				
фракции 5—10 мм . .	840	—	7,0	100
» 10—20 » . .	736	—	9,0	100

Для проведения экспериментов нами были изготовлены керамзитобетонные образцы на трех видах керамзитового гравия, основные свойства которого по ГОСТ 9759—65 указаны в табл. 1.

В качестве мелкого заполнителя применялся кварцевый песок объемным насыпным весом $1,48 \text{ т/м}^3$ и модулем крупности 1,90. Керамзитобетонные смеси изготавливались на портландцементе Здолбуновского завода марки 500, и в отдельных сериях содержали добавку ГКЖ-94 в количестве 0,1% веса цемента. Составы керамзитобетонной смеси приведены в табл. 2.

Для изучения возможности использования в дело подмороженной смеси ее замораживали при температурах $-5 \div -10^\circ\text{C}$ и $-20 \div -25^\circ\text{C}$ через 15 и 60 мин после окончания перемешивания. Продолжительность замораживания составляла 4—5 ч. После оттаивания в течение 1,5—2 ч предварительно замороженной смеси из нее формовали кубы размером $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$. Из той же смеси до ее замораживания отформовывали также контрольные керамзитобетонные кубы, которые испытывали одновременно с образцами из замораживавшейся смеси в возрасте 28 и 90 суток. Все бетонные образцы хранились в нормальных температурно-влажностных условиях, и результаты их испытания приведены в табл. 3.

Как установлено опытами, раннее замораживание смеси через 15 мин после ее приготовления до температуры $-5 \div -10^\circ\text{C}$ вызывает в итоге снижение прочности при сжатии керамзитобетона до $30 \div 45\%$. При замораживании смеси через 60 мин после приготовления до тех же температур такого снижения прочности не наблюдается. Раннее замораживание смеси при более низких температурах ($-20 \div -25^\circ\text{C}$) снижения прочности керамзитобетона практически не вызывало. Следовательно, понижение температуры предварительного замораживания смеси до $-20 \div -25^\circ\text{C}$ и более длительное выдерживание смеси до замораживания не влияют на прочностные показатели керамзитобетона, твердевшего в нормальных условиях.

Чем объясняется такое влияние температуры и времени начала замораживания смеси на конечную прочность керамзитобетона? После затворения водой бетонной смеси через 15 мин после ее приготовления воздействие температуры до -10°C вызывает постепен-

Составы и основные характеристики исследуемых керамзитобетонных смесей

Таблица 2

Керамзитовый гравий завода	Вид добавки	Маркировка составов	Расход материалов на 1 м ³ керамзитобетона					В/Ц	Жесткость смеси в сек или осадка конуса в см	Объемный вес свежесуложенной смеси в кг/м ³	Прочность при сжатии керамзитобетона в возрасте 28 суток в кг/см ²
			портландцемента марки 50Q в кг	керамзитового гравия в л/кг		песка кварцевого в л/кг	воды в л				
				фракции 5—10 мм	фракции 10—20 мм						
Бескудниковского	ГКЖ-94	БГ	470	385*	385	470	185	0,39	15 сек	1720	261
				200	183	700					
То же	Без добавки	Б	480	390	390	480	180	0,38	20 сек	1743	280
				208	190	720					
Лианозовского	ГКЖ-94	ЛГ	475	838**		387	236	0,50	8 сек	1840	322
				626		576					
То же	Без добавки	Л	487	850**		400	241	0,50	2,4 см	1863	310
				632		583					
Дубровского	ГКЖ-94	ДГ	471	796		382	203	0,43	4,2 см	1820	312
				545		605					
То же	Без добавки	Д	461	784		369	200	0,43	3,7 см	1800	361
				539		598					

* Над чертой дан расход заполнителей в л, под чертой — в кг.

** Крупность фракций керамзитового гравия 5—20 мм.

Влияние предварительного замораживания керамзитобетонной смеси на прочность при сжатии и объемный вес бетона

Температура замораживания смеси	Вид добавки	Маркировка состава	Вид керамзитобетонной смеси											
			контрольная				замороженная через 15 мин				замороженная через 60 мин			
			Значения объемного веса бетона (в кг/м ³) и прочности на сжатие (в кг/см ²) через											
			28 суток		90 суток		28 суток		90 суток		28 суток		90 суток	
γ_b	$R_{сж}$	γ_b	$R_{сж}$	γ_b	$R_{сж}$	γ_b	$R_{сж}$	γ_b	$R_{сж}$	γ_b	$R_{сж}$	γ_b	$R_{сж}$	
-5 ÷ -10°С	ГКЖ-94	БГ	1746	208	1670	225	1681	$\frac{145^*}{-30}$	1663	$\frac{189}{-16}$	1726	$\frac{226}{+8}$	1740	$\frac{256}{+14}$
	Без добавки	Б	1718	240	1710	248	1603	$\frac{126}{-47}$	1612	$\frac{135}{-46}$	1773	$\frac{223}{-7}$	1728	$\frac{247}{0}$
-20 ÷ -25°С	ГКЖ-94	БГ	1715	218	1698	216	1735	$\frac{266}{+22}$	1645	$\frac{204}{-5}$	1761	$\frac{261}{+20}$	1791	$\frac{294}{+33}$
	Без добавки	Б	1672	236	1665	259	1696	$\frac{230}{-2}$	1722	$\frac{243}{-6}$	1677	$\frac{182}{-23}$	1688	$\frac{234}{-8}$

* Под чертой показано снижение прочности относительной контрольной в %.

пое замедление начавшихся реакций. Они возобновляются после оттаивания, но уже на меньшей удельной поверхности ранее образовавшихся и не разрушенных морозом флокул. Промораживание смеси при температурах $-20 \div -25^{\circ}\text{C}$ не только останавливает процессы гидратации, но и влечет за собой разрушение флокул и экранирующих зерна цемента гелевидных оболочек. То же самое происходит и при более позднем замораживании смеси (через 60 мин).

Введение гидрофобизирующей добавки ГКЖ-94 улучшает качество смеси, подвергаемой замораживанию, что следует из данных о прочности бетона, отформованного из этой смеси. Так, бетон из смеси с добавкой ГКЖ-94, подвергнутой замораживанию до температуры $-5 \div -10^{\circ}\text{C}$, через 60 мин после приготовления имел прочность 256 кг/см^2 против 247 кг/см^2 у контрольных образцов в возрасте 90 суток и соответственно 294 кг/см^2 против 234 кг/см^2 при замораживании до $-20 \div -25^{\circ}\text{C}$.

Результаты исследования позволяют считать, что замороженная керамзитобетонная смесь после оттаивания может быть использована для бетонирования конструкций. При этом, если замораживание смеси неизбежно, то предпочтительнее, чтобы оно произошло примерно через 60 мин после окончания перемешивания.

Следует отметить, что результаты наших исследований по замораживанию легкобетонных смесей подтверждаются опытами, проделанными проф. С. А. Мироновым с тяжелым бетоном еще в 1944 г., когда при повторном вибрировании замороженных сразу же после укладки и оттаявших образцов оказалось, что их прочность восстанавливается и даже повышается [1].

Для исследования влияния раннего замораживания уложенного керамзитобетона на его прочностные характеристики из керамзитобетонных смесей приведенных выше составов (см. табл. 2) готовили три партии образцов-кубов размером $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$, а также балочки размером $4 \times 4 \times 16 \text{ см}$ и цилиндры диаметром 150 и высотой 50 мм. Первую партию керамзитобетонных кубов и балочек непосредственно после изготовления замораживали при температурах $-5 \div -10^{\circ}\text{C}$ и $-20 \div -25^{\circ}\text{C}$ в течение 3 суток. Вторую партию заморажи-

вали до тех же температур после приобретения образцами в нормальных условиях некоторой прочности в пределах $25 \div 50\%$ марочной. Третью партию образцов хранили в течение всего эксперимента в нормальных температурно-влажностных условиях. Вынесенные на мороз образцы после промораживания помещали в камеру нормального твердения.

Образцы испытывали перед вынесением на мороз, затем после того, как они были внесены и оттаяли, и через 28 и 90 суток последующего нормального твердения. Контрольные серии образцов нормального твердения испытывали в возрасте, соответствующем этим срокам. Результаты испытания даны на рис. 1.

Как следует из полученных данных, замораживание свежееуложенного керамзитобетона с последующим выдерживанием его в нормальных условиях не влечет за собой снижения его прочности к 28 и 90 суткам. Замораживание керамзитобетона, имеющего начальную «критическую» прочность менее 100 кг/см^2 , вызывает некоторый недобор прочности к 28 суткам, однако к 90 суткам прочность бетона становится равной прочности незамораживавшихся образцов. Замораживание бетона с начальной прочностью более 100 кг/см^2 не сказывается на конечной его прочности.

Введение добавки ГКЖ-94 в бетонную смесь существенно не меняет картину. Понижение температуры замораживания до $-20 \div -25^\circ\text{C}$ также не изменяет характера процессов.

При производстве бетонных работ в зимнее время керамзитобетонные смеси и свежееуложенный бетон следует предохранять от замораживания. Промораживание может произойти лишь случайно и, если в процессе строительства свежееуложенный или уже набравший какую-либо прочность керамзитобетон подвергнется некоторому воздействию отрицательных температур, то прочность его в более поздние сроки может восстановиться.

В условиях эксплуатации бетон в сооружениях часто подвергается продолжительному попеременному воздействию весьма низких отрицательных температур. Исследования стойкости керамзитобетона при циклическом воздействии температуры -50°C проводились в наших опытах по методике, изложенной в ГОСТ 4800-59. Результаты испытания (табл. 4) показали, что водона-

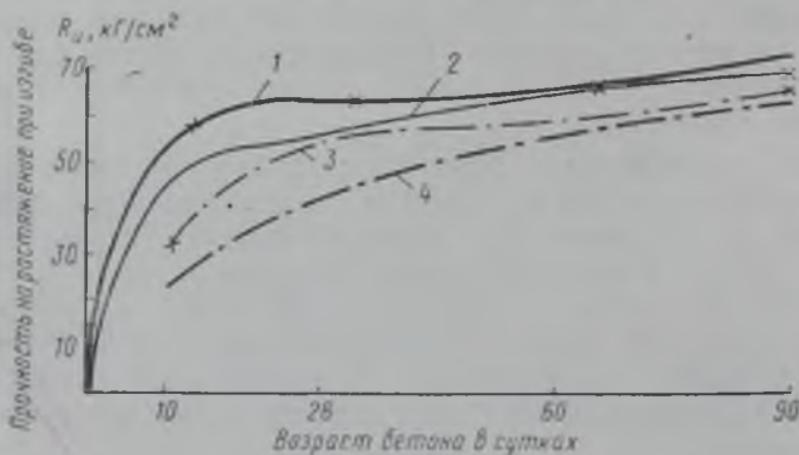
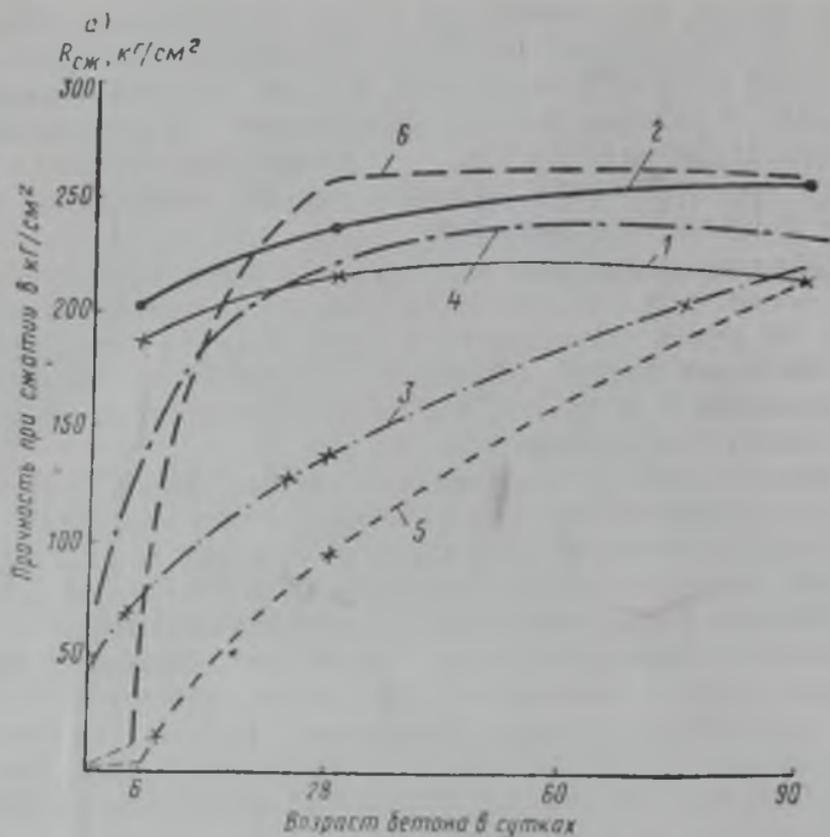
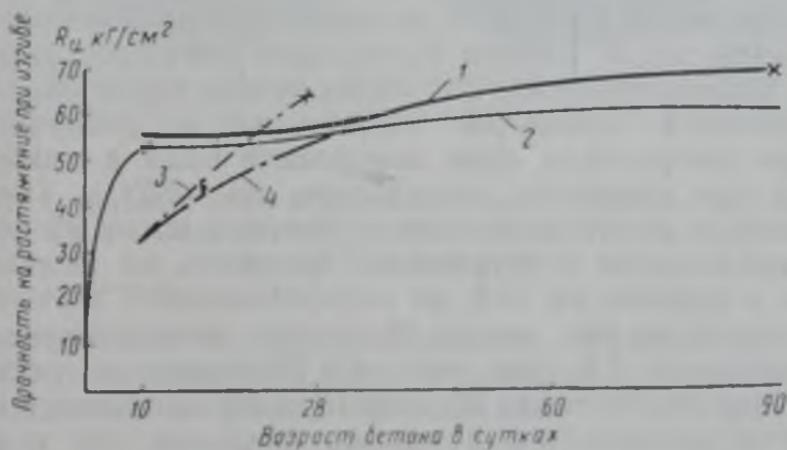
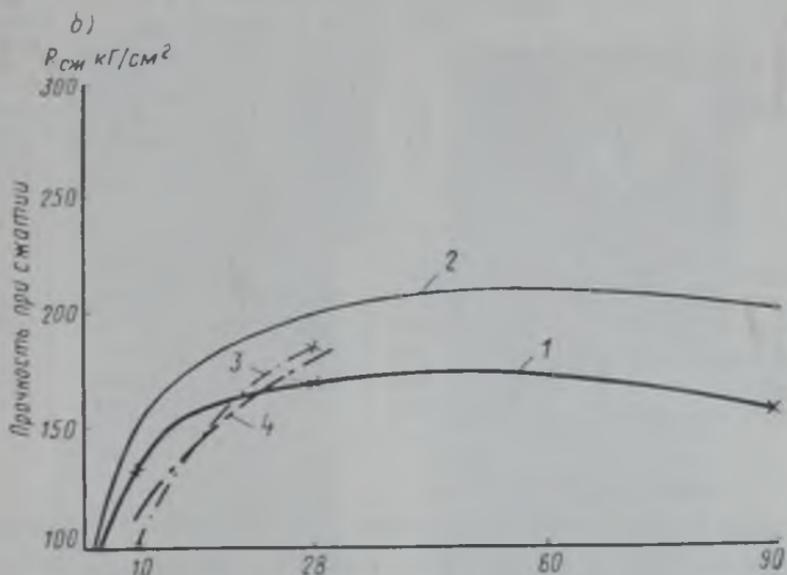


Рис. 1. Влияние раннего замораживания конструктивного керн изгибе

а — температура замораживания 20—25°C; б — температура заморажив добавкой ГКЖ-94; 2 — то же, без добавки; 3 — образцы с ГКЖ-94, имевшие 5 — образцы с добавкой ГКЖ-94, замороженные без начальной прочно

сыщенный конструктивный керамзитобетон указанных в табл. 2 составов выдерживает 50 циклов попеременного



амзитобетона на рост его прочности, сжатие и растяжение при

ания $-10 \div -15^{\circ}\text{C}$; 1 — образцы контрольные (незамораживавшиеся) с до замораживания начальную прочность; 4 — то же, без добавки; сти; б — то же, без добавки

замораживания до -50°C и последующего оттаивания в воде. Внешний вид образцов испытанных составов (Д и

Изменение прочности при сжатии конструктивного керамзитобетона при замораживании до -50°C

Вид добавки	Маркировка состава	Прочность при сжатии образцов в $\text{кг}/\text{см}^2$ после циклов замораживания					Отношение прочности образцов после 50 циклов замораживания к прочности контрольных
		к началу замораживания	25	30	50	контрольных к концу замораживания	
ГКЖ-94	БГ	281	229	—	266	295	0,90
Без добавки	Б	301	238	—	281	300	0,94
ГКЖ-94	ЛГ	342	302	305	306	335	0,92
Без добавки	Л	330	292	284	253	354	0,71
ГКЖ-94	ДГ	322	298	281	306	332	0,92
Без добавки	Д	381	284	307	301	425	0,71

ДГ) на керамзите Дубровского завода после 50 циклов замораживания и оттаивания показан на рис. 2. Установлено также, что после 25 циклов попеременного замораживания до -50°C и оттаивания и продолжения испытаний до 50 циклов происходит некоторое упрочнение керамзитобетона. Это объясняется, вероятно, интенсификацией процессов гидратации в разрушаемых льдом микропорах (при замерзании воды в микрообъемах при снижении температуры до -50°C). Так, например, в шести испытанных составах после 25 циклов замораживания и оттаивания прочность на сжатие падает в среднем на 16% от первоначального значения, и в четырех из них после 50 циклов восстанавливается примерно на 7% (см. табл. 4). Прочность на растяжение при изгибе после 25 циклов замораживания и оттаивания уменьшается в тех же пределах, что и прочность на сжатие. При последующем хранении в нормальных условиях в течение 180 суток (после 25 циклов замораживания до -50°C и оттаивания) оба эти показателя восстанавливаются на 5—9%, в то время как прочность незамороженных образцов за этот же период времени не увеличивается (рис. 3). Об интенсификации процессов гидратации после 25 циклов попеременного замораживания до -50°C и оттаивания свидетельствует некоторое повышение водонепроницае-

местности керамзитобетонных образцов (диаметром 150 мм и высотой 50 мм), подвергнутых замораживанию. До

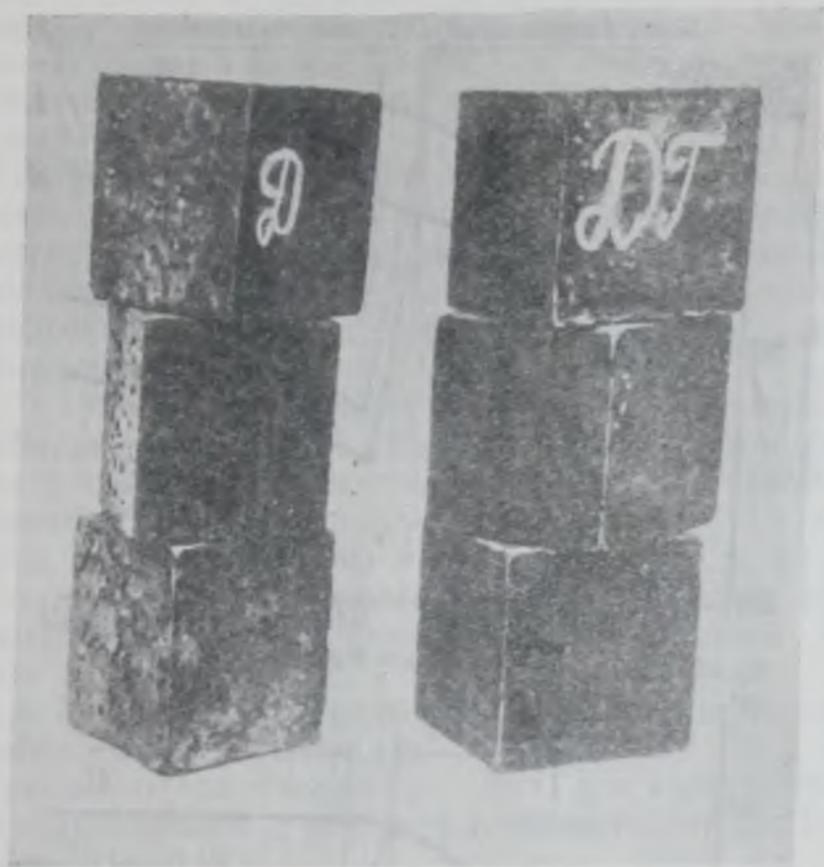


Рис. 2. Внешний вид керамзитобетонных образцов составов «Д» и «ДГ» после 50 циклов попеременного замораживания до -50°C и оттаивания

замораживания водонепроницаемость образцов без добавки и с добавкой ГКЖ-94 составляла от 2 до 5 ат соответственно, а после 25 циклов — 5 и примерно 12 ат.

Морозостойкость бетонов этих же составов при испытании по стандартной методике и при стандартных температурах (-15°C — -18°C) по ГОСТ 4800—59 находилась в пределах 400—500 циклов. Это позволяет ввести при переходе от испытаний конструктивных керамзитобетонов при стандартных температурах к испытаниям при низких отрицательных (-50°C) понижающий коэффициент $K=0,15 \div 0,10$, такой же, как и для тяжелых бетонов [3].

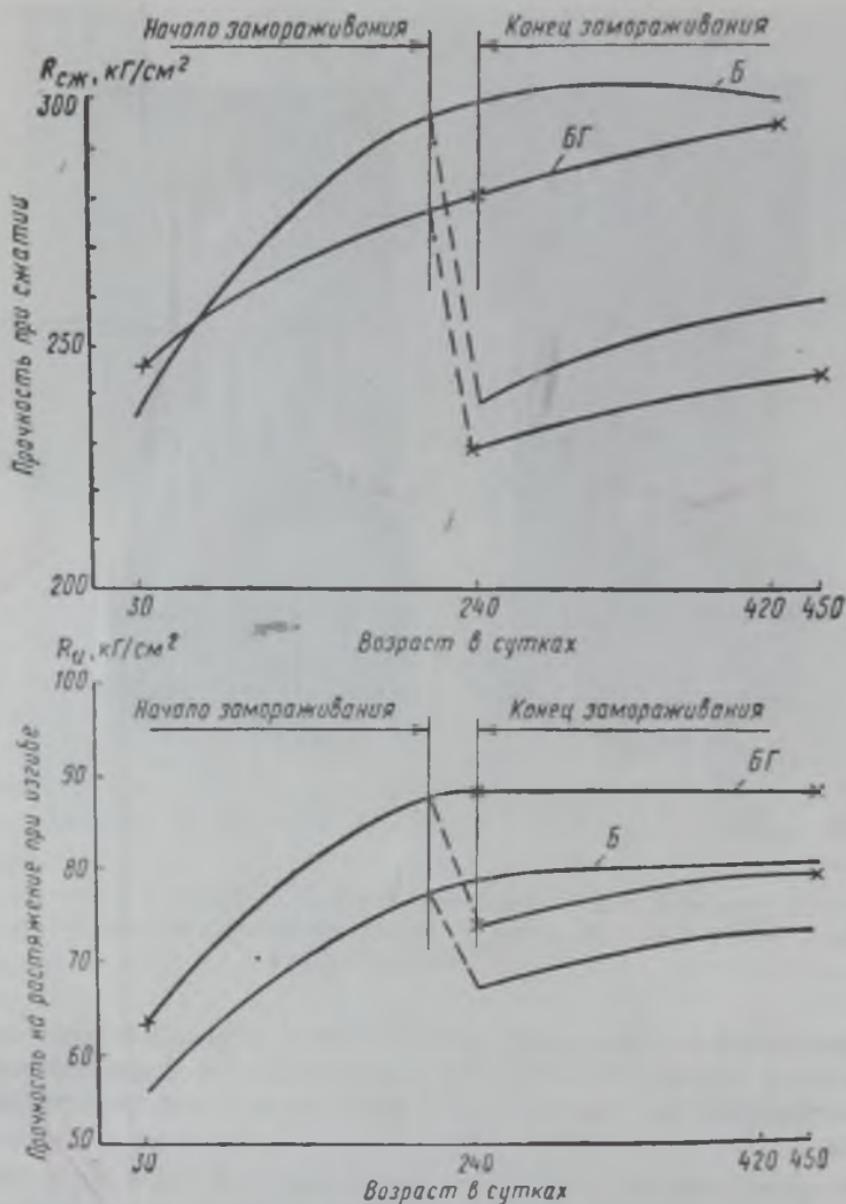


Рис. 3. Изменение прочности на сжатие и изгиб конструктивного керамзитобетона после 25 циклов попеременного замораживания до -50°C и оттаивания и последующего твердения в нормальных условиях

Б — состав керамзитобетона на керамзитовом гравии Бескудниковского завода; БГ — состав с добавкой ГКЖ-94 на керамзитовом гравии Бескудниковского завода

Выводы

1. Конструктивный керамзитобетон является вполне морозостойким материалом как при воздействии сравнительно высоких отрицательных температур ($-15 \div -25^\circ\text{C}$), так и низких (-50°C), в связи с чем область его применения может быть распространена на районы Крайнего Севера.

2. Если при производстве бетонных работ в зимнее время допущено, хотя это и нежелательно, некоторое непродолжительное подмораживание керамзитобетонной смеси, то ее можно использовать, если при полном и быстром оттаивании она сохранила требуемую удобоукладываемость.

3. Раннее замораживание конструктивного керамзитобетона существенно не влияет на последующий рост его прочности после оттаивания. При замораживании у керамзитобетона с прочностью менее 100 кг/см^2 к возрасту 28 суток отмечается недобор прочности; к 90 же суткам его прочность достигает прочности бетона нормального твердения, не подвергавшегося действию мороза.

4. Переходный коэффициент от показателя морозостойкости при замораживании по ГОСТ 4800—59 к замораживанию при температуре -50°C для конструктивного керамзитобетона, как и для тяжелого бетона, составляет $0,15-0,10$.

5. Установлено, что введение в керамзитобетонную смесь гидрофобизирующей добавки ГКЖ-94 существенно не меняет свойства смеси и бетона при раннем замораживании, но несколько повышает морозостойкость и существенно увеличивает показатели водонепроницаемости после 25 циклов переменного замораживания до -50°C .

ЛИТЕРАТУРА

1. Мионов С. А. Теория и методы зимнего бетонирования, Госстройиздат, М., 1956.
2. Судаков В. Б. Морозостойкость бетонов в разном возрасте, «Энергия», М.—Л., 1964.
3. Капкин М. М., Мазур Б. М. Морозостойкость бетона при низких отрицательных температурах. «Бетон и железобетон», 1964, № 11.

ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН

Среди исследований, посвященных изучению и разработке методов повышения водонепроницаемости бетонов, сравнительно немного работ по легким бетонам. Среди них наиболее известны труды А. А. Аракеляна [1], Г. Д. Цискрели [6] и др., изучавших водонепроницаемость бетонов на естественных пористых заполнителях, а также работы А. И. Ваганова [2], исследовавшего водонепроницаемость судостроительного керамзитобетона и показавшего, что на естественных и искусственных пористых заполнителях может быть получен водонепроницаемый бетон.

В лаборатории легких бетонов НИИЖБ в 1966—1969 гг. изучалась водонепроницаемость конструктивно-керамзитобетона.

Испытания бетона на водонепроницаемость велись на специальной установке. Для создания давления на

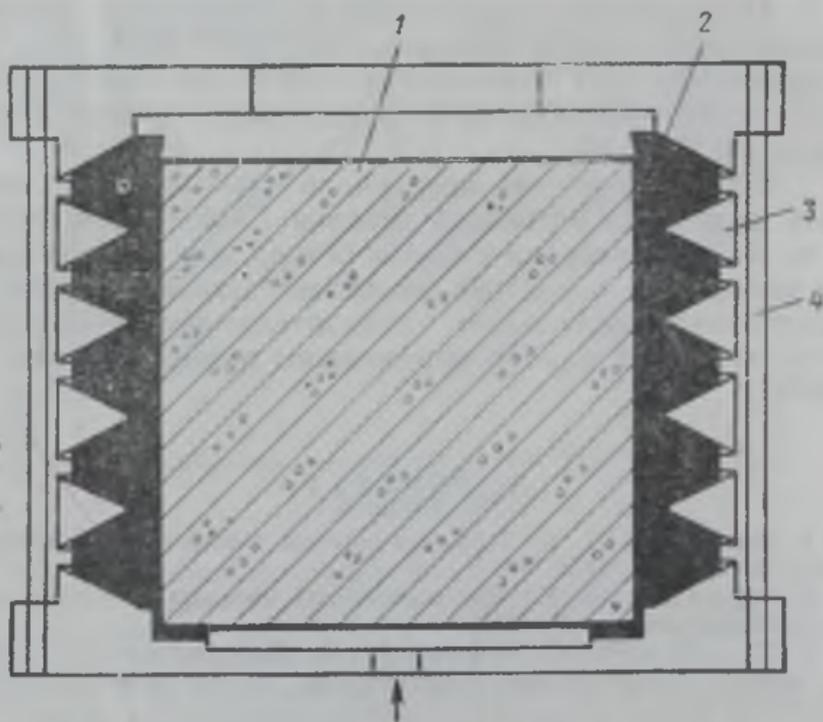


Рис. 1. Схема устройства уплотнения бетонного образца в обойме прибора для испытания на водонепроницаемость

воду использовали сжатый азот, а регулирование и поддержание заданного давления осуществлялось при помощи газового редуктора. Наибольшую трудность при проведении испытаний на водонепроницаемость обычно представляет герметизация образцов в обоймах. На нашей установке эта проблема была решена путем устройства уплотнительных резиновых колец-манжет 2 и нажимных стальных колец 3, которые при затяжке гаек на стяжных болтах 4 выдавливали манжеты к образцу 1, обжимая его по периметру, как это показано на рис. 1. Меняя набор колец и манжет, можно испытывать образцы диаметром 150 и высотой 30, 50, 100 и 150 мм.

Для определения брали стандартные образцы-цилиндры диаметром и высотой 150 мм.

Составы испытанных бетонов приведены в табл. 1.

Составы испытанных бетонов

Таблица 1

Маркировка составов	Вид крупного заполнителя	Предел прочности бетона при сжатии в кг/см ²	Объемный вес сухого бетона в кг/м ³	Расход материалов на 1 м ³ бетона в кг				
				портландцемент марки 500	плотный песок	щебень (гравий)	вода (в л)	В/Ц затворения
А	Керамзитовый гравий Бескудниковского завода фракции 5—10 мм (50%)	173	1550	291	745	435	179	0,62
С	То же, фракции 10—20 мм (50%)	257	1690	465	690	425	195	0,42
Т*	Гранитный щебень фракции 5—10, 10—15 и 15—30 мм	450	2460	500	600	1100	160	0,32
Д	Плотный известняковый щебень фракции 5—20 мм	270	2370	362	448	1000	164	0,44
М	То же	230	2400	345	660	1080	183	0,53

* Образцы состава Т уплотняются виброштампованием с вакуумированием.

Для всех образцов была принята единая методика проведения испытания: подъем давления воды на

1 кг/см² с выдержкой на каждой ступени от 8 до 16 ч. Когда давление достигало 8 кг/см², его повышали до 12 кг/см², а следующей ступенью было 20 кг/см². При этом давлении образцы выдерживали от 16 ч до трех суток, причем во всех случаях фильтрация воды через керамзитобетон не наблюдалась. После снятия давления образцы немедленно извлекали из обойм и раскалывали под прессом по образующей. На расколотых образцах фиксировалась высота подъема воды в сечении и характер увлажнения.

Проведенными по описанной методике испытаниями было установлено, что в керамзитобетонных образцах граница подъема воды располагается на определенном расстоянии от нижней плоскости образца, выше которого находится увлажненная область, иногда с малочисленными скоплениями капельной жидкости в отдельных порах растворной части или заполнителя.

Границы подъема воды для образцов состава А показаны на рис. 2.

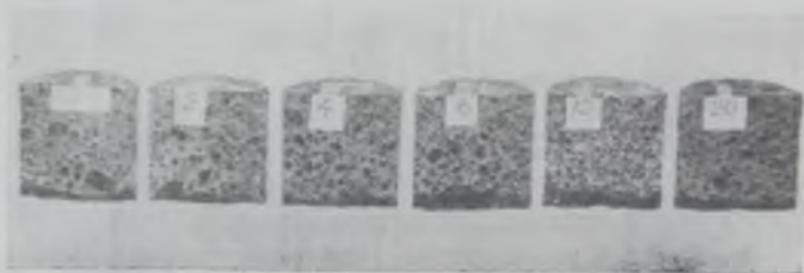


Рис. 2. Характер проникания воды в керамзитобетон под соответствующим давлением (темное поле внизу образцов)

Длительное выдерживание образцов под давлением не увеличивало глубины пропитки образца водой, что давало основание предположить, что после подъема жидкости до определенной границы фильтрация прекращается. Однако на самом деле в данном случае происходит медленное течение воды через бетон вначале в виде жидкости, а затем в виде ее паров [3, 7]. Таким механизмом переноса жидкости объясняется и слабое увлажнение зоны бетона, лежащей выше линии обводнения, и появление в этой зоне капельной влаги.

Продвижение жидкости в глубь бетона происходит вначале под действием градиента давления ΔP и сил

капиллярного всасывания, направленных в одну сторону. По достижении поднимающейся жидкостью уровня, соответствующего высоте капиллярного подъема в данном бетоне, силы капиллярного всасывания начинают препятствовать дальнейшему продвижению жидкости, которое становится возможным только при условии, когда $\Delta P > P_\sigma$, где P_σ — сила капиллярного всасывания. При $\Delta P < P_\sigma$, выше уровня капиллярного подъема жидкость переносится уже в виде паров, и интенсивность такого переноса будет зависеть от интенсивности испарения с открытой поверхности. Под действием капиллярных сил происходит подсос жидкости до уровня капиллярного подъема по мере ее испарения.

При $\Delta P > P_\sigma$ будет иметь место так называемое вязкостное течение жидкости через бетон. Необходимое условие этого процесса — наличие некоторого избыточного давления, превышающего капиллярные силы, удерживающие жидкость в капилляре, и силы трения. В конкретном случае, при исследовании водопроницаемости бетона, величина силы, которую необходимо приложить для вытеснения жидкости из единичного капилляра с эффективным радиусом r , может быть найдена путем подстановки в формулу (1) численных значений:

$$\Delta P > P_\sigma = 2 \pi r \alpha \cos \theta, \quad (1)$$

где P_σ — сила капиллярного всасывания;

r — радиус капилляра в см;

ΔP — градиент давления воды;

α — сила поверхностного натяжения воды, равная на границе вода — воздух 72,8 дин/см (при 20°C);

θ — угол смачивания.

Полагая, что бетон смачивается полностью, принимаем

$$\theta = 0 \text{ и } \cos \theta = 1.$$

Тогда условие вязкостного течения воды через бетон в зависимости от радиуса единичного капилляра примет вид:

$$\Delta P > 457 r.$$

При переходе от единичного капилляра к реальному бетонному сечению, у которого на 1 см^2 поверхности приходится N поровых каналов со средним эффектив-

ным радиусом r , это выражение можно представить в виде функции:

$$\Delta P = f(N, r).$$

В данной формуле величины, стоящие в скобках, определяют поверхностную пористость бетона, которая численно равна объемной пористости* и тогда

$$\Delta P = \psi(P_{\text{общ.}}), \quad (2)$$

где $P_{\text{общ.}}$ — общая суммарная пористость бетона в %.

Учитывая, что высокий капиллярный потенциал левой и контракционной пористости цементного камня препятствует вязкостному течению воды через эти виды пор, можно в выражении (2) заменить $P_{\text{общ.}}$ — общую пористость, на $P_{\text{кап.}}$ — капиллярную пористость, в %.

Величина капиллярной пористости зависит от расхода цемента и воды на кубометр бетона, а также от степени гидратации цемента; для легкого бетона она зависит еще от величины поглощения жидкой фазы заполнителем и выражается формулой

$$P_{\text{кап.}} = \frac{B_0 - 0,5 \alpha Ц^{**}}{1000}, \quad (3)$$

где B_0 — количество воды в бетоне за вычетом воды, поглощенной пористым заполнителем, в л;

α — степень гидратации цемента;

$Ц$ — расход цемента на 1 м³ бетона в кг.

Нахождение зависимости $\Delta P = \psi(P_{\text{кап.}})$ позволяет выявить водонепроницаемость керамзитобетона уже на стадии проектирования его состава и подбирать составы с требуемой характеристикой. Поэтому дальнейшие исследования водонепроницаемости легких бетонов должны быть направлены на изучение связи между $P_{\text{кап.}}$ и ΔP .

Ниже приводятся результаты наших работ в этой области.

В легком бетоне структура растворной части складывается под воздействием пористого заполнителя, роль которого не ограничивается лишь влиянием на степень адгезионного взаимодействия в контактной зоне. Он оказывает более глубокое влияние на все процессы

* Пыхачев Г. Б. Подземная гидравлика. Гостоптехиздат, 1961.

** Формула предложена проф. Г. И. Горчаковым.

структурообразования, главным образом в связи с изменением V/C , принятого при затворении бетона. Вследствие отсоса зернами заполнителя избыточной воды остаточное ее количество приближается к величине, равной молекулярной влагоемкости цемента (количество воды, необходимое для покрытия зерен цемента сольватным слоем, отнесенное к весу цемента), что соответствует консистенции теста нормальной густоты, при которой уже не происходит внутреннего водоотделения [7].

Раздвижка мицелл (зерен цемента с сольватными оболочками) избыточной водой обычно и приводит к образованию рыхлой и пористой структуры цементного камня. В наших составах «А» и «С» с использованием керамзитового гравия при V/C затворения 0,62 и 0,42 истинное V/C составило соответственно 0,36 и 0,30 (что приближается к значениям V/C у теста нормальной густоты 0,24). В результате была получена структура бетона с минимальным объемом капиллярных пор $P_{\text{кап.}} = 3,6$ и $3,14\%$). Для контрольных составов тяжелого бетона «Д», «М» и «Т» V/C затворения соответственно составило 0,45; 0,53 и 0,32, а капиллярная пористость 7,4; 9,7; 3,5%. Естественно, что керамзитобетоны и тяжелый бетон состава «Т» выдержали давление 20 ат, а бетоны серии «Д» и «М» пропустили воду уже при давлении 2 ат, чего и следовало ожидать, исходя из их характеристик пористости и V/C .

Как показано в работах В. В. Стольникова [5], Н. А. Мощанского [3] и др., основными путями фильтрации воды в бетонах на плотных заполнителях являются растворная часть и зона контакта между нею и гранулами крупного заполнителя. В бетонах на пористых заполнителях из-за отсутствия седиментационных полостей у зерен крупного заполнителя, а также благодаря высокой плотности зоны контакта исключается возможность фильтрации воды по этому пути; для фильтрации остаются только поры и неплотности растворной части.

Фильтрации воды через пористый заполнитель не происходит, так как вокруг него образуется уплотненная растворная оболочка, а в нем защемляется воздух, противодействие которого повышается по мере проникания в бетон воды [4]. Однако при раскалывании керамзитобетонных образцов после испытания на водонепрони-

щаемость нами было обнаружено, что в зоне полного обводнения керамзит также насыщен водой, что объясняется возможно мгновенным снятием противодействия сжатого воздуха при раскалывании зерен заполнителя.

Таким образом, в плотном легком бетоне, в отличие от тяжелого, единственным путем фильтрации являются капилляры и неплотности растворной части, а водонепроницаемость бетона в целом определяется качеством его растворной составляющей.

В тяжелом бетоне гранулометрия крупного заполнителя, главным образом, улучшает упаковку зерен и повышает плотность бетона. Причем наиболее плотная схема упаковки теоретически представляется в виде пространства, заполненного шарами с непрерывно уменьшающимися диаметрами. Плотность такой системы определяется в основном плотностью заполнителя [7].

Если речь идет о конструктивном легком бетоне, то такая схема неприемлема, так как она противоречит природе заполнителя, имеющего пористую структуру и относительно невысокую прочность. При проектировании конструктивных бетонов на легких заполнителях чаще стремятся получить структуру с «плавающим заполнителем» (по И. М. Френкелю), исходя, прежде всего, из необходимости обеспечить требуемую прочность. В связи с изложенным для легких плотных бетонов непрерывность гранулометрического состава заполнителя, играющая важную роль в водонепроницаемости тяжелых бетонов, не имеет значения.

Исследуя, как влияет на водонепроницаемость судостроительного керамзитобетона содержание керамзитового гравия, А. И. Ваганов [2] установил, что с увеличением количества гравия от 0 до $0,48 \text{ м}^3$ на кубометр бетона водонепроницаемость его снижается. Эта закономерность не подтвердилась в наших опытах и она не согласуется с гипотезой о путях фильтрации воды в легких бетонах. Испытанные нами составы с расходом керамзитового гравия $0,76—0,78 \text{ м}^3$ на 1 м^3 бетона были водонепроницаемы при испытании в стандартных образцах до давления 20 ат .

Большинство исследователей считает, что пористость и водопоглощение заполнителей отрицательно влияют на водонепроницаемость бетона и рекомендуют поэтому плотные заполнители. Некоторые допускают возмож-

ность использования заполнителя с водопоглощением до 2% и общей пористостью зерен не более 20%. Однако данные, полученные А. А. Аракеляном [1], А. И. Вагановым [2], М. З. Симоновым [4], Г. Д. Цискрели [6], и результаты наших исследований показывают, что заполнители с общей пористостью до 80%, причем даже не обладающие замкнутой пористостью, как, например, арктический туф (пористость 77%, водопоглощение 40%), позволяют получать бетоны с водонепроницаемостью более 20 ат. В наших опытах при испытании плотных керамзитобетонов на лианозовском (общая пористость 55%, водопоглощение 26%) и бескудниковском керамзите (общая пористость 64—67%, водопоглощение 16—23%) фильтрация воды при давлениях до 20 ат не была обнаружена.

Что касается минимальных расходов цемента, при которых можно получить водонепроницаемый легкий бетон, то, по нашим данным и данным других исследователей, расход цемента уже 200—250 кг на 1 м³ плотного легкого бетона позволяет достигнуть водонепроницаемости 5—10 ат, а расход 300 кг/м³ — 20 ат и более.

Нарушение структуры растворной части бетонов под воздействием внешних факторов вызывает снижение их водонепроницаемости, причем у бетонов на пористых заполнителях это сказывается в меньшей степени. Такое явление отмечалось А. И. Вагановым [2], исследовавшим изменение водонепроницаемости керамзитобетона после 100 циклов замораживания и оттаивания при температуре —18° С. Он испытывал бетонные образцы толщиной 30—40 мм, вследствие чего можно было наблюдать фильтрацию воды через бетон после замораживания. В наших же опытах при толщине керамзитобетонных образцов 150 мм фильтрации после 100 циклов переменного замораживания и оттаивания не было. Однако при раскалывании образцов можно было наблюдать перемещение фронта обводнения на высоту 6—7 см в образцах состава «А» и на высоту 3—4 см в образцах состава «С» (рис. 3).

Отрицательно сказывающееся на водонепроницаемости тяжелого бетона высушивание влияет на это же свойство конструктивного керамзитобетона в гораздо меньшей степени. Так, образцы, подвергнутые трехточечному высушиванию при температуре 105—110° С, при давлении воды 20 ат пропустили ее только через

8 ч. На рис. 4 видно, что фильтрация воды при этом происходит через обезвоженные периферийные области образца № 3. Следует, однако, отметить чрезвычайно жесткие условия проведенного нами испытания, целью

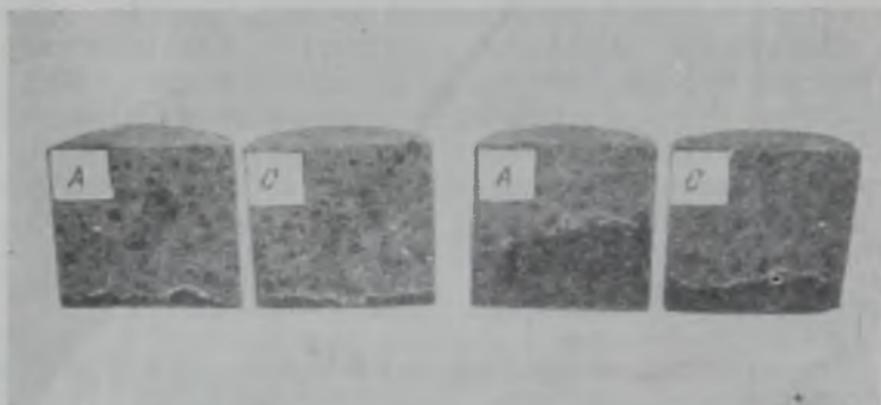


Рис. 3. Изменение водонепроницаемости керамзитобетонов составов А и В после 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания (темное поле внизу образца — вода)
а — до замораживания; б — после замораживания

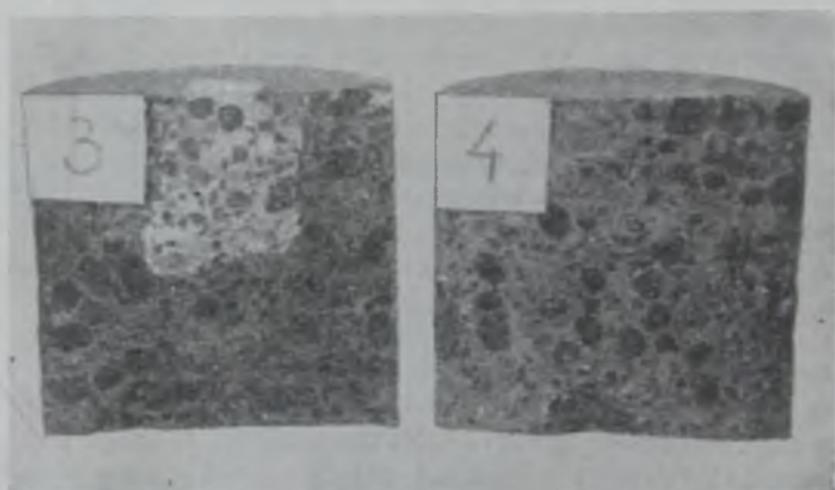


Рис. 4. Водонепроницаемость высушенного керамзитобетонного образца (образец 3) и контрольного (образец 4) при давлении 20 ат (темное поле на образце 3 — вода)

которого было выявить условия проницаемости плотного конструктивного керамзитобетона.

Обычно даже в сухом и жарком климате такая степень обезвоживания бетона и мгновенное приложение такого высокого гидравлического напора могут встретиться редко.

Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации керамзитобетонных элементов и сооружений, подвергающихся постоянному или периодическому воздействию воды, показывает, что конструктивный керамзитобетон может с успехом применяться там, где к бетону предъявляются высокие требования по водонепроницаемости.

Выводы

1. Плотный конструктивный керамзитобетон в пределах нормируемых значений, указанных в ГОСТ 4795—68 «Бетон гидротехнический. Технические требования», является водонепроницаемым материалом.

2. Влияние факторов внешней среды (замораживание, высушивание), вызывающее нарушение структуры и снижение водонепроницаемости тяжелых бетонов, сказывается на водонепроницаемости конструктивных керамзитобетонов в значительно меньшей степени.

3. Плотный керамзитобетон может быть рекомендован для применения в конструкциях, подвергающихся постоянному или периодическому воздействию воды (например, в конструкциях портовых гидротехнических, гидромелиоративных, водозаборных и других сооружений), в условиях сухого и жаркого климата, а также низких отрицательных температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аракелян А. А. Основные свойства гидротехнического бетона на литоидной пемзе. Сб. «Гидротехнический бетон на литоидной пемзе», Ереван, 1959.

2. Ваганов А. И. Исследование свойств керамзитобетона. Госстройиздат, М.—Л., 1960.

3. Мощанский Н. А. Плотность и стойкость бетона, Стройиздат, 1951.

4. Симонов М. З. Бетон и железобетон на пористых заполнителях, Стройиздат, 1955.

5. Стольников В. В. Исследования по гидротехническому бетону, Госэнергоиздат, М.—Л., 1962.

6. Цискрели Г. Д. Физико-механические и деформативные свойства легких бетонов. Сб. трудов ТИИТ им. Ленина, т. XIV, Тбилиси, 1947.

7. Чеховский Ю. В. Понижение проницаемости бетона, «Энергия», М., 1968.

КЕРАМЗИТОПЕНОБЕТОН

Неавтоклавный керамзитобетон с поризованным цементным камнем получил в последнее время довольно широкое распространение при изготовлении ограждающих конструкций жилых, гражданских, промышленных и сельскохозяйственных зданий с сухим или нормальным влажностными режимами внутренних помещений и при отсутствии агрессивных сред.

Поризация цементного камня в легком бетоне и отказ от применения легких песков позволяют снизить объемный вес материала на $15 \div 20\%$ при той же прочности и экономить до 30% керамзита. Экономия крупного заполнителя достигается за счет того, что в настоящее время легкий песок получают дроблением керамзитового гравия, причем для получения 1 м^3 керамзитового песка расходуется примерно $1,4 \div 1,6 \text{ м}^3$ крупного заполнителя. Таким образом, общий расход крупного заполнителя на 1 м^3 керамзитобетона в случае поризации цементного камня и отказа от применения легкого песка снижается с $1,5 \div 1,6 \text{ м}^3$ до $1,1 \text{ м}^3$.

Керамзитопенобетонная смесь обладает по сравнению с обычной керамзитобетонной смесью повышенной подвижностью, что позволяет получать более высокое качество всех поверхностей ограждающих конструкций и уменьшает трудозатраты при формировании изделий.

Помимо перечисленных выше преимуществ данный новый вид легкого бетона обладает несколько меньшим коэффициентом теплопроводности при одинаковой марке и более высокой (в 1,3 раза) огнестойкостью [1, 4].

Поризованные легкие бетоны выгодно отличаются от неавтоклавных ячеистых повышенной (в $1,1 \div 1,3$ раза) прочностью при одинаковом объемном весе, меньшей (в $3 \div 5$ раз) усадкой, повышенной трещиностойкостью, более высокой морозостойкостью и значительно меньшим расходом вяжущего [1, 4].

Как показала практика, керамзитопенобетон следует применять при отсутствии на данном предприятии достаточного количества легкого песка или когда на имеющихся сравнительно тяжелом керамзите и песке нет возможности получить бетон требуемого по проекту объемного веса.

Возможные объемные веса керамзитопенобетона различных марок при использовании для его изготовления керамзитового гравия, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 9759—65, и цемента марки 400 (по ГОСТ 10178—60), приведены в табл. 1.

Таблица 1

Объемный вес керамзитопенобетона в сухом состоянии

Объемный насыпной вес керамзитового гравия в кг/м ³	Объемный вес керамзитопенобетона в кг/м ³ при марке его			
	35	50	75	100
300	620	700	800	—
400	720	800	860	950
500	820	900	940	1030
600	920	980	1030	1120
800	1130	1180	1230	1320

Для приготовления керамзитопенобетона применяют следующие материалы: керамзитовый гравий, цемент, пенообразователи и воду, а по необходимости—добавки для регулирования сроков схватывания цемента.

В качестве вяжущего для приготовления керамзитопенобетонной смеси следует применять портландцемент или шлакопортландцемент, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 10178—62.

Разрешается использовать, после предварительной проверки, как добавку к цементу с целью его экономии золы ТЭЦ или другие кремнеземистые добавки с удельной поверхностью не менее 2000 см²/г в количестве до 20% веса цемента [7, 8].

Керамзитовый гравий, применяемый для приготовления керамзитопенобетона, должен удовлетворять требованиям ГОСТ 9759—65. Он должен быть фракционированным (фракции 5 ÷ 10, 10 ÷ 20, 20 ÷ 40 мм) или представлять собой смесь фракций определенного зернового состава.

При наличии керамзитового песка рекомендуется вводить его в состав керамзитопенобетонной смеси в количестве, позволяющем получать материал с требуемым объемным весом. Добавление мелкого пористого заполнителя позволяет снизить расход цемента.

Пенообразователями для керамзитопенобетона могут служить клееканифольный, жидкостекольный, смолосапониновый, алюмосульфонафтенный и др., удов-

летворяющие требованиям действующих стандартов и «Инструкции по технологии изготовления изделий из автоклавного ячеистого бетона» (СН 277—64) и не вызывающие коррозию арматуры в бетоне.

Подбор состава керамзитопенобетона

Подбор состава керамзитопенобетона заданной прочности при наименьшем расходе вяжущего производится расчетно-экспериментальным путем в соответствии с «Инструкцией по изготовлению изделий из новых видов легких бетонов» (Стройиздат, 1966 г.).

При подборе состава керамзитопенобетона следует стремиться к максимальному насыщению бетона керамзитом. Установлено, что максимальное насыщение вибрированного бетона керамзитом происходит при расходе его $1,1 \text{ м}^3$ на 1 м^3 бетона с учетом некоторой раздвижки зерен. Отклонения от этого рекомендуемого расхода должны быть не более $\pm 5 \div 10\%$.

Назначение расхода вяжущего ориентировочно производится по данным, приведенным в табл. 2, в зависимости от требуемой марки бетона и имеющегося в наличии керамзитового гравия.

Причем первоначально для подбора берут три расхода вяжущего, в том числе указанный в табл. 2, и величины, которые на 15% больше и меньше его.

Таблица 2

Ориентировочные расходы цемента для получения керамзитопенобетона различных марок

Объемный насыпной вес керамзитового гравия в $\text{кг}/\text{м}^3$	Ориентировочный расход цемента марки 400 в $\text{кг}/\text{м}^3$ для получения керамзитопенобетона марки			
	35	50	75	100
300	250	320	380	—
400	240	300	360	420
500	230	290	340	400
600	220	280	320	380
800	220	260	300	360

Расход воды определяют опытным путем. Он зависит от водопотребности крупного заполнителя, расхода цемента, требуемой подвижности бетонной смеси, техно-

логии формирования изделий и, в особенности, от содержания в смеси керамзитового песка.

При формировании изделий в горизонтальных формах из легкобетонной смеси с оптимальной подвижностью, соответствующей осадке конуса $1 \div 2$ см по ГОСТ 11051—64, ориентировочный расход воды принимается из расчета $V/V_{\text{вж}} = 0,4 \div 0,5$. Такой показатель получается при использовании керамзита с водопоглощением через 48 ч (по ГОСТ 9758—68) порядка $15 \div 25\%$ и при содержании легкого песка не более 5% общего объема заполнителя.

Расход воды выбирается минимальным, обеспечивающим комкование керамзитопенобетонной смеси до введения в нее технической пены. Дальнейшее уменьшение расхода воды ведет к частичному разрушению пены и получению бетона неплотной структуры. Завышенные же расходы воды способствуют раздвижке зерен керамзита при введении технической пены, что вызывает значительное уменьшение прочности бетона.

Ориентировочные расходы воды при использовании смеси заполнителей, содержащих керамзитового песка от 0 до 30% общего объема заполнителей ($1,1 \text{ м}^3 \pm \pm 10\%$), указаны на рис. 1.

Ориентировочные расходы пенообразователя зависят от способа приготовления пены (центробежным насосом или в пеномешалке) и требуемой степени поризации бетона.

В табл. 3 приведены рекомендуемые концентрации пенообразователей, которые уточняются предварительной проверкой.

Наиболее широкое распространение при приготовлении керамзитопенобетона получил клееканифольный пенообразователь.

Ориентировочный его расход в литрах на приготовление 1 м^3 керамзитопенобетонной смеси в зависимости от марки керамзитопенобетона и содержания керамзитового песка может быть взят по данным рис. 1.

Пену добавляют до достижения свежеуложенной керамзитопенобетонной смесью определенного объемного веса ($\gamma_{\text{св}}$) в $\text{кг}/\text{м}^3$, который определяют по формуле:

$$\gamma_{\text{св}} = 1,1 \gamma_{\text{к}} + B + Ц + \gamma_{\text{п}} P,$$

где $\gamma_{\text{к}}$ — объемный насыпной вес керамзитового гравия в $\text{кг}/\text{м}^3$;
 B — расход воды в л на 1 м^3 ;

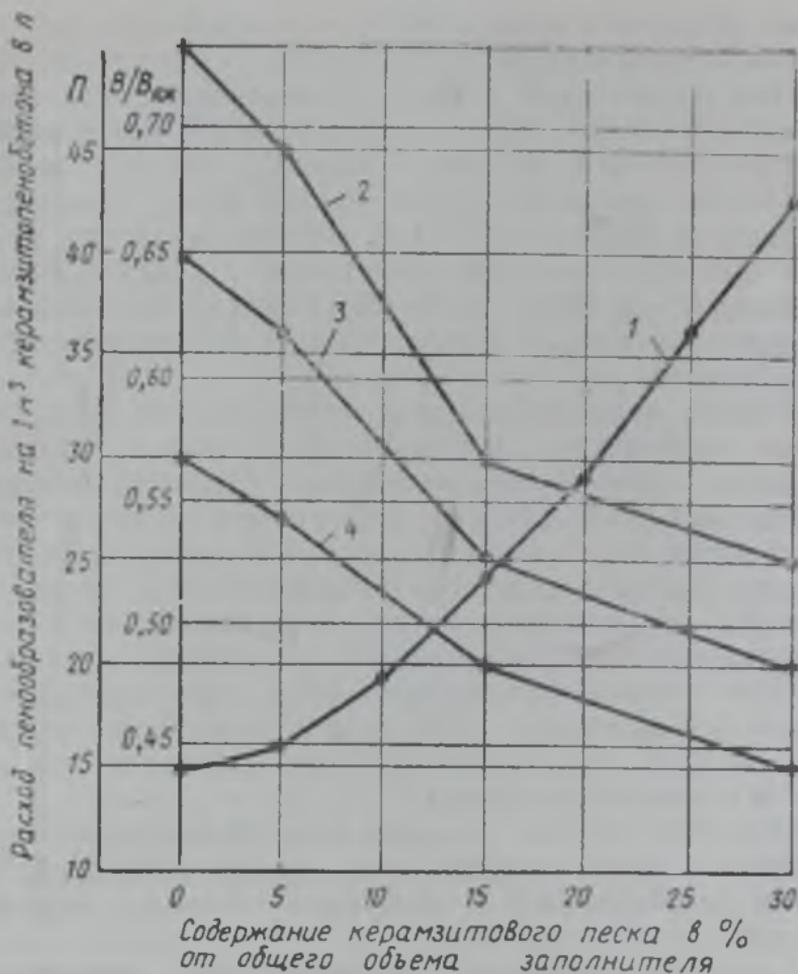


Рис. 1. Ориентировочные расходы воды и клееканифоля пенообразователя рабочей концентрации в зависимости от изменения содержания керамзитового песка в смеси заполнителя для приготовления керамзитопенбетона марки 50—100

1 — В/Ц; 2 — расход пенообразователя для бетона марки 50; 3 — то же, для бетона марки 75; 4 — то же, для бетона марки 100

Ц — расход цемента (или цемента + кремнеземистого компонента, если он применяется) в кг/м³;

P — расход пенообразователя рабочей концентрации в л на 1 м³ керамзитопенбетонной смеси;

γ_п — объемный вес пенообразователя рабочей концентрации в кг/л.

Исходя из принятых расходов вяжущего, заполнителя, воды и пенообразователя изготовляют керамзитопенбетонную смесь, из которой формуется не менее 6 кубов размером 15×15×15 см каждого состава. Три об-

Рабочие концентрации различных пенообразователей

Вид пенообразователя	Соотношение по объему концентрированный пенообразователь : вода
Клееканифольный	1 : 20
Гидролизованная кровь ГК	1 : 20
Соабсток	1 : 5
Жидкостекольный	1 : 20
Смолосапониновый	1 : 20
Алюмосульфонафтенный	1 : 10
Дегтеизвестковый	1 : 5

разца из каждого состава испытывают через 4 ч после окончания тепловой обработки, а три остальных — через 28 суток хранения в нормальных условиях.

Технология изготовления контрольных образцов должна быть аналогична установленному на производстве способу изготовления изделий из керамзитопенобетона.

Расходы материалов на 1 м³ бетона подсчитывают в зависимости от фактического объемного веса свежееуложенной керамзитопенобетонной смеси.

Правильность выбранного в лаборатории состава, обеспечивающего получение керамзитопенобетона требуемой прочности при минимальном объемном весе, проверяют путем изготовления и испытания дополнительной серии образцов (не менее 6 шт.) в производственных условиях.

Технология приготовления керамзитопенобетонной смеси проста, и без значительных затрат легко может быть освоена на заводах, выпускающих конструкции из обычных легких бетонов. Для этого в бетонном узле дополнительно устанавливают лишь оборудование, в котором приготавливают пенообразователь с требуемой рабочей концентрацией, дозируют количество его, необходимое на замес, и взбивают техническую пену.

Дополнительное оборудование, как правило, размещают в зависимости от наличия свободного места в бетоносмесительном узле.

Можно рекомендовать схему расстановки дополнительного оборудования для приготовления технической пены из клееканифольного пенообразователя, принятую на ДСК треста КПД Главмособлстроя в г. Воскресен-

ске (рис. 2). Варка клея и канифольного мыла осуществляется в паровой бане 1, которая состоит из металлического корпуса, снабженного паровой рубашкой, и

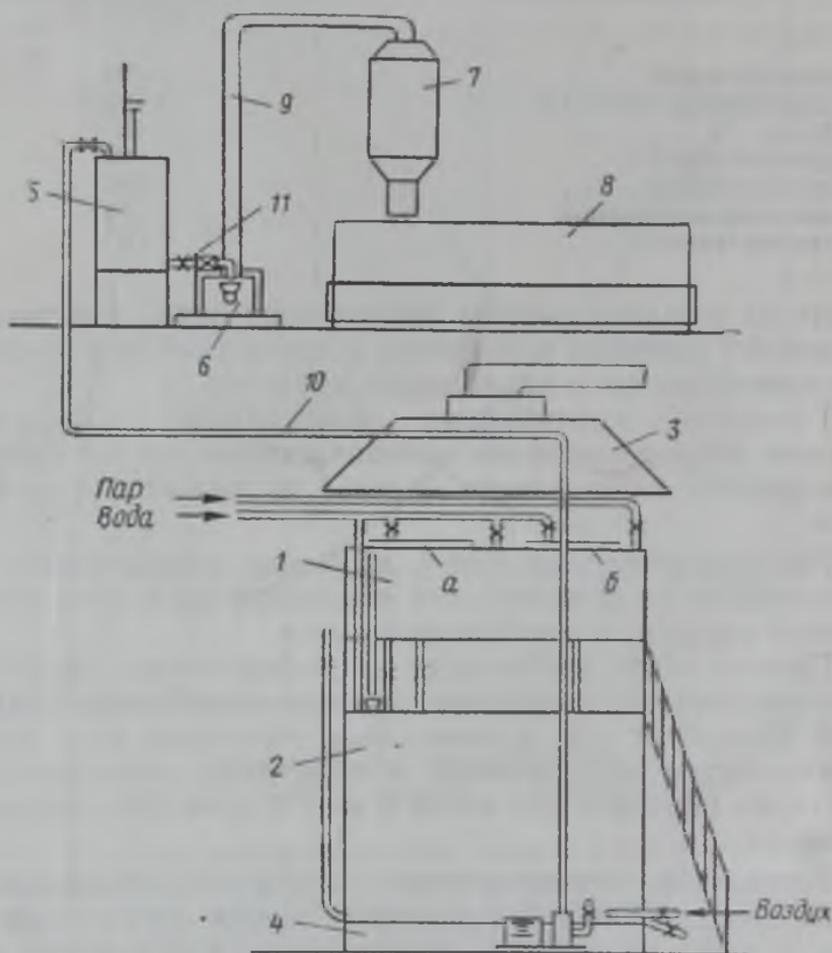


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема расстановки дополнительного оборудования для приготовления технической пены из клееканифольного пенообразователя

1 — паровая баня (а — бак для варки клеевого раствора; б — бак для варки канифольного мыла); 2 — расходный бак пенообразователя; 3 — вытяжная вентиляция; 4 — центробежный насос; 5 — дозатор пенообразователя; 6 — центробежный насос для взбивания пены; 7 — накопитель пены на замес; 8 — бетономешалка; 9 — трубопровод для подачи пены; 10 — трубопровод подачи пенообразователя; 11 — кран для регулировки скорости вытекания пенообразователя

двух бачков, один из которых (для варки канифольного мыла) имеет индивидуальную паровую рубашку.

Сваренные клей и канифольное мыло самотеком по-

ступают в находящийся под паровой баней расходный бак пенообразователя 2, где разбавляются водой до рабочей концентрации. Для более быстрого и равномерного перемешивания клея, мыла и воды в расходной емкости желательнее предусмотреть в ней змеевик с отверстиями $\varnothing 2 \div 3$ мм, к которому подведен сжатый воздух. Необходимое на замес количество пенообразователя дозируют при помощи объемного или весового дозатора 5. Водный раствор пенообразователя в дозатор закачивают при помощи насоса 4 типа 1,5К-6 или 2К-6. Могут быть использованы серийный жидкостный дозатор типа АВДЖ-1200/425, у которого выпускное отверстие переделано для постепенного вытекания жидкости, или мерный бак с поплавком, связанным с концевым выключателем, который при определенном уровне жидкости в баке отключает насос 4.

Техническая пена взбивается в центробежном насосе 6 типа 4К-6, 4К-8 или 4К-9. Пену можно взбивать и в центробежных насосах других марок с числом оборотов не менее 1600—1800 об/мин или в пеномешалках барабанного типа. Однако, несмотря на то что пена из пеномешалок получается более стойкой, она быстрее разрушается при перемешивании с керамзитобетонной смесью, так как имеет более крупную структуру, чем пена, полученная в центробежном насосе. Из насоса пена поступает по шлангу $\varnothing 75$ —100 мм 9 в накопитель пены 7 на замес. В качестве накопителя пены могут быть использованы бункера от дозаторов цемента (АВДЦ-1200/425) и воды (АВДЖ-1200/425) или любая другая емкость с пневматическим или гидравлическим выпускным затвором.

Накопитель пены требуется для того, чтобы избежать снижения производительности смесительного оборудования.

Паровую баню и расходный бак пенообразователя рекомендуется устанавливать на первом этаже бетоно-смесительного узла; дозатор пенообразователя и центробежный насос для взбивания пены — на одном этаже с мешалкой для приготовления бетонной смеси, а накопитель пены на замес должен подвешиваться над ней.

Поризованный легкий бетон целесообразно готовить в бетономешалках принудительного перемешивания типов С-356 и С-355. Хорошие результаты дает также применение смесительных машин СМ-806 и СМ-

949, основным преимуществом которых является их большая емкость (до $1,5 \text{ м}^3$).

При использовании этих смесительных машин необходимо поднять катки на максимальную высоту, чтобы избежать дробления легкого заполнителя. При отсутствии таких смесителей для приготовления поризованных легких бетонов можно использовать растворомешалки типов СМ-290 и С-209. Правда, в этом случае наблюдается утяжеление бетона, так как при перемешивании некоторые слабые крупные гранулы керамзитового гравия, заклинивающиеся между лопастями и корпусом растворомешалки, разрушаются.

После приготовления обычным путем керамзитобетонной смеси в смеситель добавляют из накопителя необходимое на замес количество взбитой пены, которая перемешивается с бетонной смесью в течение $0,5 \div 1 \text{ мин}$. Взбивать техническую пену следует в то же время, что и готовить керамзитобетонную смесь, а затем перемешивать их.

При подаче приготовленной керамзитопенобетонной смеси к формовочному посту на ее качестве отрицательно сказываются транспортирование на длинных транспортерных лентах, перегрузки и свободное падение с высоты более 1 м . Это следует учитывать при организации производства изделий из керамзитопенобетона.

Укладка керамзитопенобетонной смеси в формы осуществляется по принятой на заводе технологии. Из поризованного керамзитобетона, обладающего повышенной удобоукладываемостью, можно формовать изделия в горизонтальных формах «лицом вверх» без нижнего фактурного слоя, а также использовать вертикальные кассетные формы. Уплотнять смесь при формировании изделий в горизонтальных формах рекомендуется без пригруза на производственных серийных виброплощадках при стандартных параметрах вибрации.

Продолжительность виброуплотнения керамзитопенобетонной смеси должна составлять $15 \div 30 \text{ сек}$. Вибрирование изделий больше 30 сек , а также использование глубинных или поверхностных вибраторов нежелательно, так как при этом частично разрушаются поры в поризованном цементном тесте.

Длительность выдержки керамзитопенобетонных панелей до нанесения верхнего фактурного слоя из ра-

створа или бетона зависит при рационально подобранном В/Вяз от содержания песка в смеси.

При содержании керамзитового песка от 0 до 30% (по объему) от общего количества заполнителя время выдержки соответственно должно составлять от 2 ч до 10 мин с момента окончания приготовления смеси. Если выдержки не производить, то фактурный слой может проникать в бетон, а отдельные гранулы керамзита будут всплывать в процессе затирки фактурного слоя. Если содержание керамзитового песка в керамзитопенобетонной смеси больше 20%, то фактурный слой практически можно укладывать сразу после окончания формования.

Время выдержки отформованных керамзитопенобетонных изделий до пропаривания, вид тепловой обработки и ее режимы могут быть такими же, как и для обычного керамзитобетона. Исключение будет составлять горячее формование и все другие виды тепловой обработки, связанные с предварительным разогревом компонентов бетонной смеси. В этом случае режимы уточняются опытным путем.

Определение основных физико-технических характеристик керамзитопенобетона показало, что данный вид бетона является эффективным стеновым материалом [1, 4, 7, 8, 9].

Прочностные и деформативные характеристики. Прочностные и деформативные характеристики керамзитопенобетона марок 50—100 на керамзитах разных заводов, определенные в соответствии с требованиями «Методики исследования основных прочностных и деформативных свойств легких бетонов при кратковременном и длительном нагружении»*, незначительно отличаются от аналогичных характеристик обычного керамзитобетона слитного строения тех же марок [1]. Значения призмочной прочности $R_{пр}$, отношения

$\frac{R_{пр}}{R_{куб}}$, модуля упругости $E_{0,2P_{разр}}$ и $E_{0,5P_{разр}}$, коэффициенты Пуассона $\mu_{0,2}$, коэффициенты пластичности $\lambda_{0,5}$ и $\lambda_{разр}$ при нагрузках соответственно 0,5 от $P_{разр}$ и при $P_{разр}$, а также величины предельной растяжимости и предельной сжимаемости приведены в табл. 4.

* Сб. «Методы испытания пористых заполнителей, легкобетонных смесей и легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1967.

Прочностные и деформативные свойства керамзитопенобетона на различных керамзитах при кратковременном нагружении образцов

Марка керамзитопенобетона	Объемный вес керамзитопенобетона в кг/м ³	$R_{ср}$ куб	$R_{пр}$	$R_{пр}/R_{куб}$	Коэффициент Пуассона μ при $\sigma = 0,2 R_{пр}$	Модуль упругости E в кг/см ²		Коэффициент пластичности λ		Предельная растяжимость $\epsilon_{пр}$ в мм/м			Предельная сжимаемость $\epsilon_{сж}$ в мм/м		
						при $\sigma = 0,2 R_{пр}$	при $\sigma = 0,5 R_{пр}$	при $\sigma = 0,5 R_{пр}$	при σ разр	упругая	пластичная	полная	упругая	пластичная	полная
35	1120	37	28	0,75	0,250	34300	28900	0,04	0,10	0,21	0,04	0,25	0,78	0,09	0,87
35	1130	37	32	0,86	0,184	33300	26800	0,05	0,16	0,33	0,13	0,46	1,19	0,23	1,42
50	1140	52	34	0,65	0,231	38000	—	—	—	—	—	0,63	—	—	1,26
50	1160	52	40	0,77	0,234	47000	50000	0,07	0,14	0,26	0,05	0,31	0,81	0,14	0,95
50	1130	52	39	0,75	0,193	52000	50000	0,05	0,18	0,23	0,06	0,29	0,83	0,19	1,02
75	1160	78	58	0,74	0,250	50000	50000	0,05	0,16	0,42	0,05	0,47	1,32	0,26	1,58
75	1180	78	85	1,08	0,250	53400	53100	0,06	0,14	0,67	0,18	0,85	1,32	0,22	1,54
75	1170	78	48	0,62	0,173	45400	42500	0,04	0,12	0,31	0,03	0,34	1,56	0,21	1,77
75	1030	80	83	1,04	0,265	55300	57600	0,07	0,14	0,32	0,06	0,38	1,49	0,24	1,73
75	1040	80	73	0,91	0,288	56000	—	—	—	—	—	0,28	—	—	1,55
75	1050	80	88	1,10	0,248	49800	51400	0,05	0,12	0,51	0,11	0,62	1,76	0,26	2,02
100	1080	101	93	0,92	0,316	98500	135500	0,04	0,09	0,30	0,04	0,34	0,60	0,06	0,66
100	1110	101	101	1,00	0,270	77600	82000	0,04	0,10	0,33	0,05	0,38	1,18	0,13	1,31
100	1130	101	69	0,68	0,189	75500	—	—	—	—	—	0,19	—	—	0,87
50	1180	48	32	0,67	0,171	36300	—	—	—	—	—	0,31	—	—	1,01
50	1170	48	28	0,58	0,193	37900	39400	0,07	0,14	0,19	0,05	0,24	0,75	0,12	0,87
50	1170	48	40	0,83	0,184	41800	39400	0,05	0,14	0,32	0,10	0,42	1,06	0,17	1,23

Примечание. Составы керамзитопенобетона с 1 по 8 — на рязанском керамзите с $\gamma_3 = 570$ кг/м³, составы с 9—14 — на саратовском керамзите с $\gamma_3 = 500$ кг/м³, а составы керамзитопенобетона с 15 по 17 — на смоленском керамзите с $\gamma_3 = 760$ кг/м³.

Отношение $\frac{R_{пр}}{R_{куб}}$ для керамзитопенобетона находится приблизительно в тех же пределах, что и для обычного керамзитобетона плотной структуры [1].

Начальный модуль упругости керамзитопенобетона марок 35—100 может быть принят в среднем на $15 \div 20\%$ меньше, чем для керамзитобетона плотной структуры в соответствии с данными СНиП I-V.1-62.

Значения коэффициента Пуассона $\mu_{0,2}$ для керамзитопенобетона указанных выше марок в среднем на $15 \div 45\%$ больше, чем для керамзитобетона плотной структуры по данным СН 279—64. Среднее значение предельной сжимаемости керамзитопенобетона марок 35—100 находится приблизительно в тех же пределах, что и у керамзитобетона плотной структуры тех же марок. Предельная растяжимость керамзитопенобетона марок 35—100 в среднем в 2—3 раза выше, чем у керамзитобетона тех же марок.

Результаты определения усадочных деформаций и деформаций ползучести керамзитопенобетона различных

Таблица 5

Ползучесть и усадка керамзитопенобетона на различных керамзитах

№ составов	Марка керамзитопенобетона	Относительные деформации усадки		Относительные деформации ползучести при $\sigma = 0,4 R_{пр}$		Мера ползучести $G = \frac{\epsilon_{полз}}{\sigma}$ мм/м
		продолжительность испытаний в сутках	$\epsilon_{ус}$ мм/м <i>K. П. 62</i>	продолжительность испытаний в сутках	$\epsilon_{полз}$ мм/м	
1	50	304	0,58	266	0,42	0,024
2	50	304	0,46	266	0,39	0,022
3	75	307	0,51	265	0,73	0,025
4	75	307	0,51	265	0,80	0,027
5	50	300	0,32	266	0,48	0,027
6	50	300	0,32	266	0,52	0,030
7	100	265	0,41	265	0,65	0,018
8	100	—	—	265	0,68	0,019
9	50	307	0,44	267	0,37	0,019
10	50	307	0,35	267	0,32	0,017

Примечание. Составы керамзитопенобетона с 1 по 4 — на рязанском керамзите с $\gamma = 570 \text{ кг/м}^3$, составы с 5 по 8 — на саратовском керамзите с $\gamma = 500 \text{ кг/м}^3$, а составы керамзитопенобетона с 9 по 10 — на смоленском керамзите с $\gamma = 760 \text{ кг/м}^3$.

марок на керамзитах разных заводов приведены в табл. 5.

Для определения брали образцы, хранившиеся в помещении с температурой $20 \pm 5^\circ \text{C}$ и относительной влажностью воздуха $65 \div 90\%$.

Испытания по определению усадочных деформаций керамзитопенобетона были начаты через сутки после пропаривания, а испытания на ползучесть — после 28-суточного хранения образцов в воздушно-сухих условиях после пропаривания.

Усадка керамзитопенобетона марок 50—100 и мера его ползучести незначительно отличаются от аналогичных показателей для плотного пропаренного керамзитобетона, определенных в те же сроки по одинаковой методике.

Теплопроводность. Значения коэффициентов теплопроводности керамзитопенобетона различных марок и разного объемного веса приблизительно равны аналогичным показателям для плотного керамзитобетона соответствующего объемного веса, и поэтому могут быть приняты по СНиП II-A.7-62* [1, 4, 9].

В наших исследованиях отмечалось, что на величину коэффициента теплопроводности существенно влияет расход цемента. Даже при меньших объемных весах керамзитопенобетонов на легком керамзите, изготовленных с большим расходом цемента, коэффициент теплопроводности у них несколько больше, чем у керамзитопенобетона большего объемного веса, изготовленного на более тяжелом керамзите и с меньшим расходом цемента.

Значения коэффициентов теплопроводности керамзитопенобетона марок 50—100 в сухом состоянии и при влажности 8—10% приведены в табл. 6.

Морозостойкость. По морозостойкости керамзитопенобетон удовлетворяет требованиям, предъявляемым ГОСТ 11024—64 и ГОСТ 13578—68 к бетонам для ограждающих конструкций и выдерживает более 25 циклов замораживания и оттаивания в соответствии с требованиями ГОСТ 7025—67 [1, 4, 9]. Коэффициенты морозостойкости керамзитопенобетонов различных марок приведены в табл. 6.

Водопоглощение. Водопоглощение керамзитопенобетона различных марок (табл. 6), определенное в соответствии с требованиями ГОСТ 7025—67, приблизи-

Коэффициенты теплопроводности, водопоглощение
и морозостойкость керамзитопенобетона на различных керамзитах

№ составов	Марка керамзитопенобетона	Объемный вес керамзитопенобетона в сухом состоянии γ_6 в кг/м ³	Расход цемента в кг/м ³	Коэффициент теплопроводности бетона в ккал/м× час·град		Водопоглощение бетона в % по весу		Морозостойкость бетона		
				в сухом состоянии	при влажности $W = 7 - 10\%$	после 48 ч выдерживания в воде	после 4 ч кипячения	количество циклов замораживания	потеря в весе	коэффициент морозостойкости
1	50	760	330	0,223	0,283	14,2	20,8	25	0	0,84
2	50	860	320	0,249	0,302	18,9	21,3	25	0	0,87
3	50	820	300	0,179	0,245	14,9	26,2	25	0	0,98
4	50	970	280	0,197	0,234	17,1	31,7	25	0	0,87
5	75	1060	320	0,206	0,252	10,7	24,5	35	0	1,00
6	75	930	380	0,226	0,289	17,1	30,7	25	0	0,87
7	100	1050	430	0,228	0,298	16,2	28,1	25	0	0,99
8	100	1120	400	0,213	0,261	10,3	21,1	50	0	0,82

Примечание. Составы керамзитобетона: 1 — на куйбышевском керамзите с $\gamma_3 = 370$ кг/м³, 2 — на саранском керамзите с $\gamma_3 = 490$ кг/м³, 3, 6 и 7 — на кишиневском керамзите с $\gamma_3 = 460$ кг/м³, 4, 5 и 8 — на рязанском керамзите с $\gamma_3 = 570$ кг/м³.

тельно равно водопоглощению керамзитобетона плотной структуры и на 20% меньше, чем у ячеистого бетона.

Сохранность арматуры. Коррозионные испытания по определению сохранности арматуры в керамзитопенобетоне различных марок на разных керамзитах показали, что арматура в этом виде бетона сохраняется хорошо [1, 3, 4, 9].

Армированные образцы из керамзитопенобетона помещались на длительное время в условия воздействия атмосферных факторов (дождь, снег, ветер, сезонные и суточные колебания температуры). Кроме того, они подвергались испытаниям по различным ускоренным режимам (циклическое увлажнение с последующим естественным высыханием или сушкой при $t = 105^\circ \text{C}$).

Вскрытие арматурных стержней после 5 лет хранения керамзитопенобетонных образцов в условиях воздействия атмосферных факторов и после 125 циклов ускоренных испытаний показало, что никаких признаков коррозии арматуры не наблюдается. Такие же данные получены при натурных обследованиях стеновых пане-

лей, изготовленных из керамзитопенобетона. Хорошая сохранность арматуры в керамзитопенобетоне объясняется тем, что при виброуплотнении вокруг нее образуется тонкая защитная пленка из плотного цементного теста или раствора [1].

Натурные обследования

Изучение различных характеристик керамзитопенобетона в лабораторных условиях было дополнено натурными обследованиями. Так, с целью проверки эксплуатационных характеристик керамзитопенобетонных наружных стеновых панелей в ноябре 1967 г. сотрудниками НИИЖБ и ЦНИИЭП жилища было проведено обследование в гг. Ижевске и Перми домов серии 1-355 и 1-464А, построенных в 1964—1967 гг. с самонесущими однослойными наружными панелями из этого материала.

Комиссией были осмотрены 50 квартир в 6 домах, построенных в разное время. Обследованием установлено, что по теплотехническим свойствам керамзитопенобетонные стеновые панели удовлетворяют требованиям, предъявляемым к наружным ограждающим конструкциям (промерзания, продувания, промокания стен не было).

Для проверки сохранности арматуры была вскрыта арматура в панелях ряда квартир, а также лестничных клеток домов, сданных в эксплуатацию в 1964—1966 гг. Было установлено, что коррозии арматуры в керамзитопенобетоне не наблюдалось и арматурные стержни были плотно защищены цементной пленкой.

Пробы, взятые на влажность из бетона панелей домов, введенных в эксплуатацию в разные сроки, показали, что эксплуатационная влажность керамзитопенобетона находится в требуемых пределах.

Применение керамзитопенобетона взамен обычного керамзитобетона в ограждающих конструкциях позволяет снизить их стоимость путем уменьшения объемного веса бетона на 10—15% (при той же прочности) и уменьшить толщину стен.

Кроме того, себестоимость изделий может быть снижена за счет уменьшения трудозатрат на формование и отделку, поскольку керамзитопенобетонная смесь обладает повышенной подвижностью.

Экономический эффект из-за отказа от применения

керамзитового песка и экономии керамзитового гравия при поризации керамзитобетона составляет в среднем 2—4 руб. на каждый 1 м³ бетона. Так, например, экономия от внедрения керамзитопенобетона, подсчитанная на основании заводских калькуляций, составила около 134 тыс. руб. в год на заводе КПД Пермского ДСК, 109 тыс. руб. в год на ДСК № 1 треста «Гражданстрой» № 18 в г. Ижевске, 30 тыс. руб. на заводе ЖБИ № 1 в г. Чимкенте, 115 тыс. руб. на заводе ЖБИ № 1 треста «Рязаньжилстрой» в г. Рязани, 153 тыс. руб. на ДСК «Главмособлстрой» в г. Воскресенске и 50 тыс. руб. на КПП треста «Смолоблстрой».

Керамзитопенобетонные блоки были впервые использованы в начале 1960 г. для строительства пятиэтажных пансионатов на Клязьминском водохранилище. Всего было изготовлено и применено более 600 м³ таких блоков.

Сейчас в Ижевске построено более 100 домов серии 1-335 и 1-464А с наружными стенами из керамзитопенобетона, а в Перми — 90 (серии 1-464А).

Кроме того, керамзитопенобетон применяется в качестве утеплителя в панелях бесчердачных вентилируемых крыш для домов серии 1-464А в гг. Перми и Курске. Более 5000 керамзитопенобетонных стеновых панелей серии СТ-02-18 было изготовлено и смонтировано в г. Чимкенте только при строительстве цехов завода фосфатных солей.

В Алма-Ате из керамзитопенобетона изготавливали наружные однослойные навесные панели для зданий институтов Промэнергопроект и Гидропроект.

Таков далеко не полный перечень мест и объектов, где был внедрен керамзитопенобетон.

С целью дальнейшего расширения области применения керамзитопенобетона и повышения качества конструкций необходимы проектирование и строительство специализированных заводов по изготовлению изделий из керамзитопенобетона, а также разработка и выпуск общесоюзных технических условий на изготовление и применение ограждающих конструкций из этого вида бетона.

Кроме того, проектные организации должны шире включать в свои типовые проекты керамзитопенобетон в качестве материала для изготовления ограждающих конструкций.

Выводы

1. Внедрение керамзитопенобетона позволяет получать бетон слитной структуры, отказаться от применения легких песков, экономить до 30% дефицитного керамзитового гравия, а также уменьшить трудозатраты при формировании изделий и выпускать их с более высоким качеством торцовых поверхностей за счет более высокой подвижности бетонной смеси.

2. Технология изготовления конструкций из керамзитопенобетона проста и легко без существенных материальных затрат может быть освоена на заводах, выпускающих легкобетонные изделия.

3. Керамзитопенобетон по своим основным прочностным, деформативным и другим физико-техническим характеристикам является эффективным стеновым материалом, что подтверждено результатами лабораторных исследований и практикой эксплуатации зданий.

4. При замене обычного плотного керамзитобетона в ограждающих конструкциях керамзитопенобетоном получается экономический эффект порядка 2—4 руб. на каждый кубический метр бетона только за счет экономии материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бужевич Г. А., Довжик В. Г. и др. Поризованный керамзитобетон. Стройиздат, 1969.

2. Дубенецкий К. Н. Высокопористые легкие бетоны «Бюллетень строительной техники», 1956, № 3.

3. Киселев Д. П. Поризованные легкие бетоны. «Производство легких заполнителей и бетонов на их основе». Издательство МВСС, БССР, 1963.

4. Киселев Д. П., Кудрявцев А. А. Поризованные легкие бетоны. Стройиздат, 1966.

5. Осокин М., Зайцев А., Бужевич Г., Киселев Д. «Вспененный керамзитобетон», «Строительная газета», 1964, № 41.

6. Попов Н. А. Новые виды легких бетонов. Стройиздат, 1939.

7. Попов Н. А., Киселев Д. П. Легкие бетоны с поризованным цементным камнем. ЦИНИС Госстроя СССР, 1960.

8. Попов Н. А., Киселев Д. П. Бетоны на пористых заполнителях с поризованным цементным камнем. Известия высших учебных заведений. «Строительство и архитектура». Новосибирск, № 4, 1960.

9. Солодухин И. А., Хаймов И. С. Заводская технология изготовления керамзитобетона, поризованного пеной, и его основные свойства. Материалы семинара «Легкие и ячеистые бетоны». Сб. 2, Дом научно-технической пропаганды им. Дзержинского, 1967

10. Инструкция по изготовлению изделий из новых видов легких бетонов. Стройиздат, 1966.

11. Инструкция по технологии изготовления изделий из автоклавного ячеистого бетона (СН 277—64) Стройиздат, 1964.

*Инж. А. С. ЗАСЛАВСКАЯ,
канд. техн. наук А. М. ПОДВАЛЬНЫЙ*

МОРОЗОСТОЙКОСТЬ КЕРАМЗИТОБЕТОНОВ, ПОРИЗОВАННЫХ ПЕНОЙ И ГАЗОМ

В лаборатории легких бетонов НИИЖБ было проведено исследование морозостойкости поризованных легких бетонов — керамзитогазобетона и керамзитопенобетона, применяющихся в качестве материала для ограждающих конструкций жилых и общественных зданий. Керамзитогазобетон и керамзитопенобетон имеют много общего. Особенно это относится к прочностным и деформативным их свойствам, которые определяются, в основном, объемным весом бетона и не зависят от вида поризации [1]. Однако вид поризации существенно влияет на формирование пористой структуры бетонов, от которой, в свою очередь, зависят такие характеристики, как водопоглощение, морозостойкость и т. д. Вспучивание керамзитогазобетонной смеси следует рассматривать как процесс возникновения и роста в цементном тесте, находящемся в вязкопластическом состоянии, сфероидальных ячеек, рассредоточенных по всему его объему. При образовании ячеек в керамзитогазобетоне у некоторых из них под давлением водорода прорываются межпоровые перегородки, в результате чего нарушается замкнутая структура поризованного цементного камня и образуются каналы, в которые легко проникает вода.

Керамзитопенобетон, напротив, имеет замкнутую пористость, которая образуется за счет введения пены в керамзитобетонную смесь. Замкнутая пористость затрудняет доступ влаги, вследствие чего водопоглощение керамзитопенобетона в начальные сроки ниже, чем у керамзитогазобетона. При длительном водонасыщении различие во влажности этих двух видов бетона уменьшается, так как последующее водонасыщение идет за счет проницаемости межпоровых перегородок, плотность которых у керамзитогазобетона выше, как полагают, в свя-

зи с более высоким внутривязовым давлением, развивающимся в нем в процессе структурообразования.

Характерная макроструктура поризованного керамзитобетона представлена на рис. 1.

Основные физико-технические свойства керамзитогазобетона и керамзитопенобетона довольно подробно исследованы [2, 3, 4].

В связи с возможностью применения этих бетонов на Крайнем Севере возникла необходимость изучения их долговечности при низких отрицательных температурах.

Целью исследования явилось определение влияния на морозостойкость поризованных керамзитобетонов марок 75—100 с объемным весом 1000 кг/м^3 следующих эксплуатационных и технологических факторов: температуры замораживания, величины водонасыщения и вида поризации.

В качестве критериев морозостойкости в наших опытах были приняты приращение остаточных деформаций образцов после их замораживания и оттаивания и изменение их динамического модуля упругости до и после испытания.

Принято считать, что при попеременном замораживании и оттаивании в бетоне возникают структурные напряжения II рода (микронапряжения в структуре). Если величина напряжений превышает предел прочности на растяжение некоторых элементов структуры или их контактов, то в бетоне образуются микротрещины, которые приводят к необратимому увеличению размеров образцов. Поэтому по изменению линейных размеров образцов в зависимости от числа циклов испытания обычно судят о деструктивных процессах, которые происходят в бетоне при его замораживании, и тем самым о его морозостойкости.

Второй характеристикой морозостойкости образцов в наших экспериментах было изменение динамического модуля упругости в процессе испытания. Между изменением динамического модуля упругости, прочностью образцов и их морозостойкостью установлена надежная корреляционная, а в ряде случаев и функциональная связь; в частности, снижение показателя динамического модуля упругости после испытания свидетельствует о понижении прочности образцов вследствие разрушения структуры бетона при замораживании.

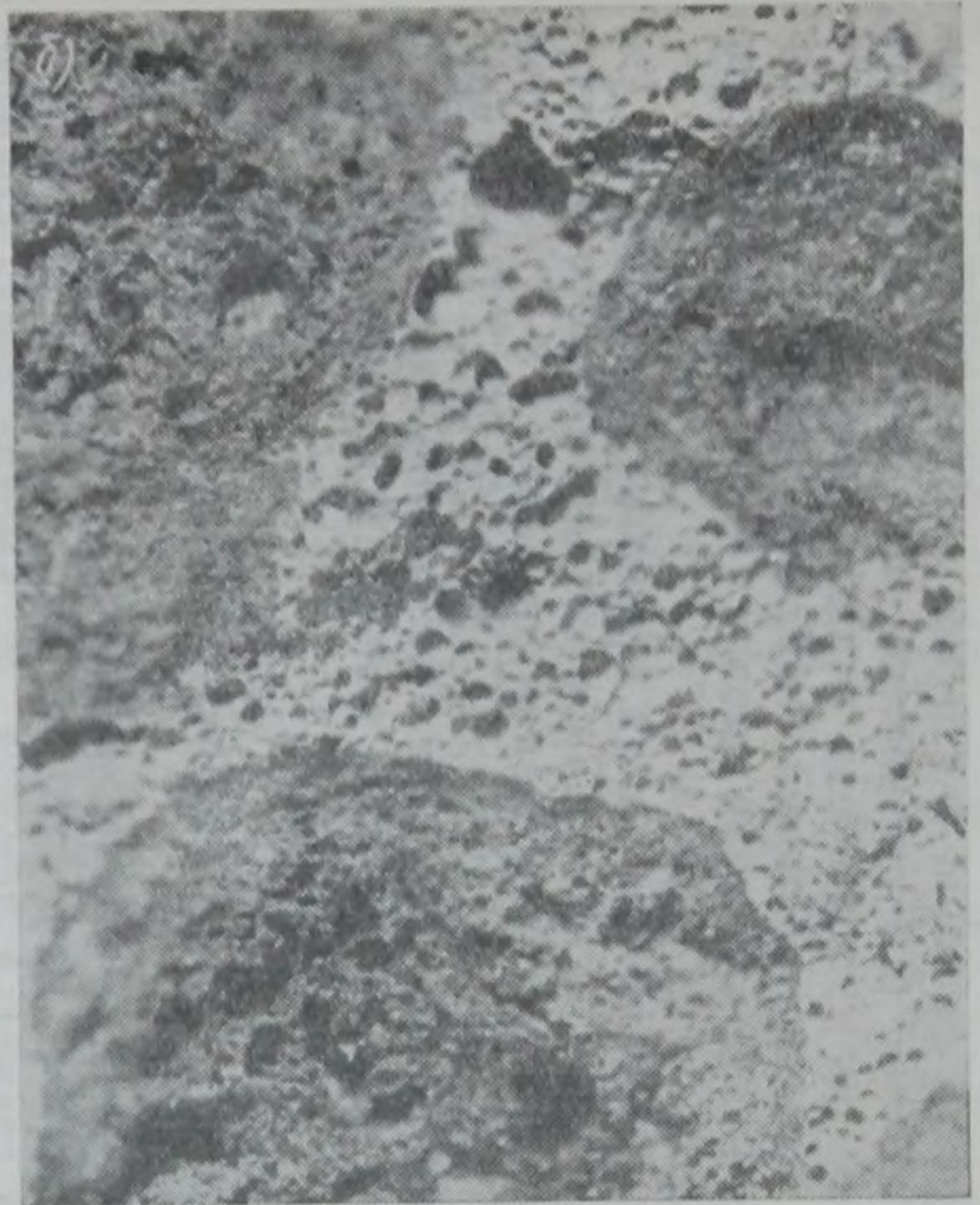
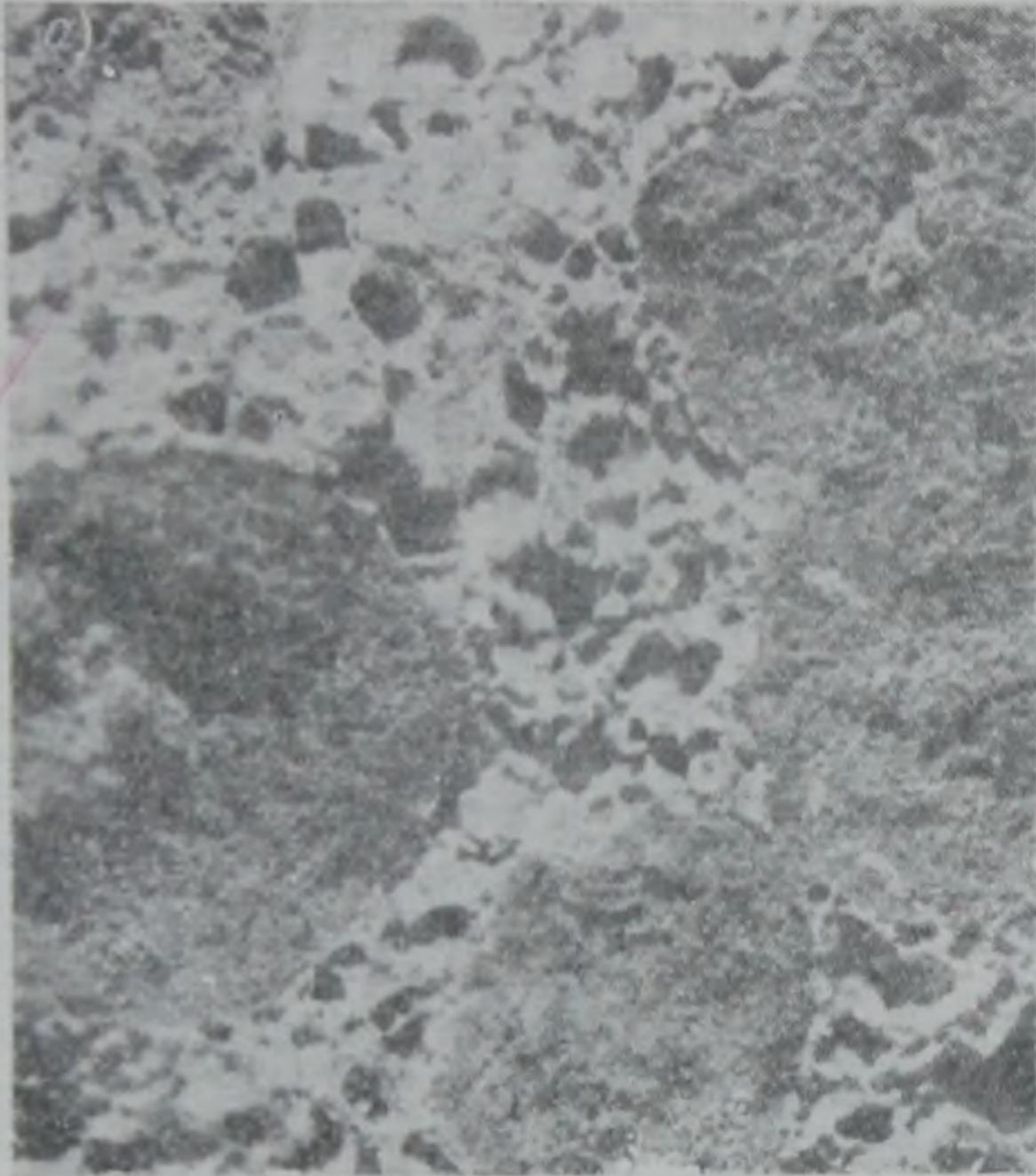


Рис. 1. Макроструктура поризованных керамзитобетонов
а — керамзитогазобетон; б — керамзитопенобетон

Для изготовления образцов из поризованных легких бетонов были взяты керамзитовый гравий Бескудниковского завода фракций 5—20 мм с объемным насыпным весом 530 кг/м^3 и с прочностью при сжатии в цилиндре 22 кг/см^2 ; портландцемент марки 400 Белгородского завода; клееканифольный пенообразователь; газообразователь — алюминиевая пудра ПАК-3 и активизатор газообразования — поташ.

Для испытаний готовили призмы размером $7 \times 7 \times 21 \text{ см}$ и кубы $15 \times 15 \times 15 \text{ см}$, которые после четырехчасовой выдержки пропаривали по режиму $3+8+3 \text{ ч}$ при температуре изотермического прогрева 85°C . После пропаривания призмы хранили в воздушно-сухих условиях в лаборатории, а кубы были испытаны на сжатие для определения прочности бетонов.

Фактические расходы материалов на 1 м^3 двух видов поризованных легких бетонов, а также их свойства приведены в табл. 1.

Образцы из керамзитопенобетона и керамзитогазобетона содержали примерно одинаковое количество керамзитового гравия и цемента и имели почти равные показатели по объемному весу, прочности при сжатии и влажности. Вместе с тем они несколько отличались по расходу воды и V/C , а также по степени воздухововлечения.

Была принята следующая методика эксперимента. В торцы образцов-призм при формовании закладывали латунные реперы. Через 28 суток после тепловой обработки образцы увлажняли, полностью погружая их в воду на 24 и 48 ч. После этого призмы изолировали полиэтиленовой пленкой для сохранения постоянной влажности и подвергали их попеременному замораживанию при температуре -20 или -60°C , затем оттаиванию при температуре $20 \pm 3^\circ\text{C}$. Всего было испытано восемь партий призм (по три образца-близнеца в каждой). Влажность образцов из керамзитогазобетона и керамзитопенобетона после 24- и 48-часового водонасыщения (при полном их погружении в воду), а также условия их испытания отражены в табл. 2.

Отметим, что влажность образцов при 140-суточном водонасыщении составляла для керамзитопенобетона 26,1%, а для керамзитогазобетона 27,4%, водопоглощение же этих бетонов под вакуумом находилось в пределах 40—45%.

Состав поризованных керамзитобетонов и их свойства

Вид бетона	Фактический расход материалов на 1 м ³ бетона		В/Ц	Объемный вес свежеуложенного бетона в кг/м ³	Объемный вес бетона в кг/м ³		Прочность при сжатии в кг/см ²		Влажность по весу в %		Степень воздухо-вовлечения по ГОСТ 11051—64 в %
	керамзита в м ³	цемента в кг			после тепловой обработки	в 28-суточном возрасте естественного хранения	после тепловой обработки	в 28-суточном возрасте естественного хранения	после тепловой обработки	в 28-суточном возрасте естественного хранения	
Керамзитопенобетон	1,13	330	0,47	1110	1070	1010	63,3	86,5	9,0	2,0	15,0
Керамзитогазобетон	1,10	350	0,57	1130	1100	1030	56,9	96,8	10,0	3,0	12,0

Таблица 2

Условия испытания образцов из поризованных керамзитобетонов
и их влажность

№ п/п	Вид поризованного легкого бетона	Температура замораживания в °С	Время насыщения образцов водой в ч	Весовая влажность образцов до замораживания в %
1	Керамзитопенобетон	60	24	8,0
2	То же	60	48	11,5
3	»	20	24	8,0
4	»	20	48	11,5
5	Керамзитогазобетон	60	24	16,0
6	То же	60	48	21,5
7	»	20	24	16,0
8	»	20	48	21,5

Поскольку в ограждающих конструкциях, как мы предполагаем, увлажнение не больше значений, указанных в табл. 2, в опытах мы создавали условия предельного водонасыщения, рекомендуемого стандартом при испытании морозостойкости стеновых материалов (ГОСТ 7025—67). Как видно из данных табл. 2, керамзитогазобетон, у которого воздухоовлечение было несколько меньше, характеризовался большим водопоглощением при одинаковом времени водонасыщения. Это объясняется, как мы уже отмечали, различием в структуре этих бетонов.

Остаточные деформации и динамический модуль упругости увлажненных до испытания призм определяли на оттаявших образцах после 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 и 75 циклов их попеременного замораживания и оттаивания по режиму: 4 ч — замораживание при температуре -60°C и -20°C и 20 ч — оттаивание на воздухе (1 цикл в сутки). Кроме того, при каждом измерении контролировали вес образцов, который оставался постоянным в течение всего эксперимента.

Характер изменения остаточных деформаций керамзитогазобетона и керамзитопенобетона при циклическом замораживании и оттаивании в зависимости от степени водонасыщения и температуры замораживания приведен на рис. 2. Как следует из представленных графиков, в

результате замораживания в бетонах накапливаются остаточные деформации расширения. Однако величина их невелика. Так, максимальное значение деформации расширения, наблюдаемое у керамзитогазобетона с влаж-

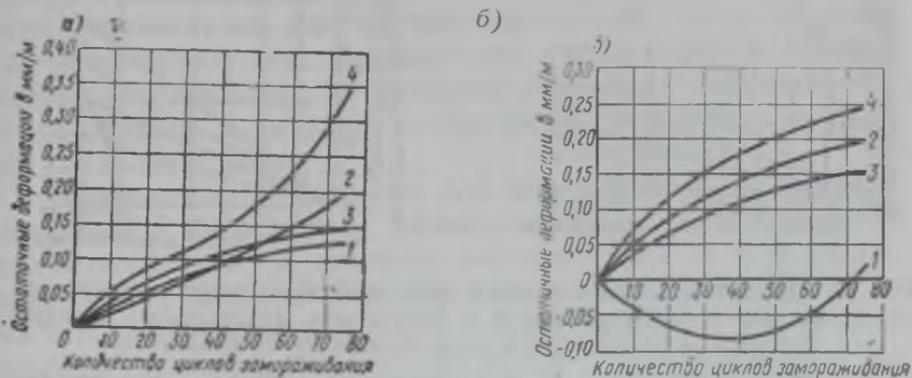


Рис. 2. Изменение остаточных деформаций поризованных керамзитобетон в результате циклического замораживания и оттаивания в зависимости от их влажности

а — при температуре -60°C ; б — при температуре -20°C ; 1 — керамзитопенобетон с влажностью 8%; 2 — то же, с влажностью 11,5%; 3 — керамзитогазобетон с влажностью 16%; 4 — то же, с влажностью 21,5%

ностью 21,5% и керамзитопенобетона с влажностью 11,5%, после 75 циклов замораживания при температуре -60°C составляет соответственно 0,35 и 0,21 мм/м. При температуре замораживания -20°C указанные характеристики равны 0,245 и 0,195 мм/м.

Для сравнения укажем, что остаточные деформации расширения у тяжелых бетонов при испытании на морозостойкость обычно значительно превышают полученные нами значения. Так, например, остаточные деформации тяжелого бетона нормального твердения с $V/C=0,5$, насыщенного водой в течение двух суток (влажность по весу около 5%), после 70 циклов замораживания при температуре -50°C и оттаивания составляли 0,71 мм/м, а при $V/C=0,6$ они возросли до 1,1 мм/м [6].

Малые остаточные деформации расширения при сравнительно высокой степени водонасыщения поризованных керамзитобетон и низкой отрицательной температуре замораживания свидетельствуют, очевидно, о достаточно высокой морозостойкости материала. Это подтверждает и тот факт, что динамический модуль упругости этих бетонов в наших испытаниях с увеличением количества

циклов замораживания и оттаивания обнаруживает тенденцию к росту (рис. 3).

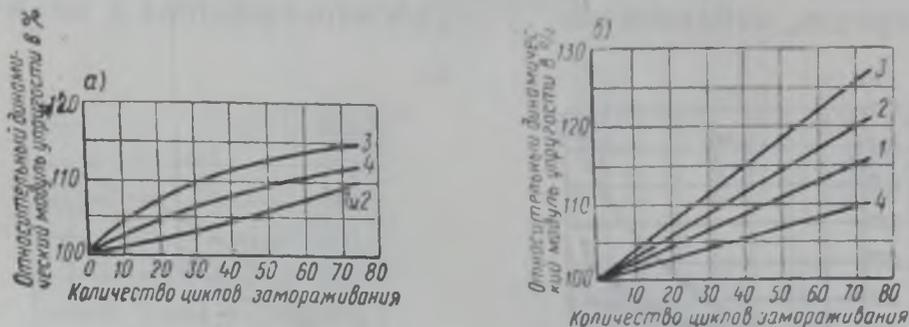


Рис. 3. Изменение относительного динамического модуля упругости поризованных керамзитобетонов в результате циклического замораживания и оттаивания в зависимости от их влажности

а — при температуре -60°C ; б — при температуре -20°C ; 1 — керамзитопенобетон с влажностью 8%; 2 — то же, с влажностью 11,5%; 3 — керамзитогазобетон с влажностью 16%; 4 — то же, с влажностью 21,5%

В табл. 3 представлены данные об изменении прочности при изгибе образцов, подвергнутых замораживанию. После 75 циклов испытания прочность при изгибе снизилась незначительно. Следует отметить, что аналогичные результаты были получены и при испытании другой се-

Таблица 3

Изменение прочности при изгибе поризованных керамзитобетонов в результате замораживания в течение 75 циклов

Вид бетона	Влажность образцов в момент замораживания в %	Температура замораживания в $^{\circ}\text{C}$	Прочность в $\text{кг}/\text{см}^2$				$K_{\text{изг мор}}$
			контрольных образцов		после 75 циклов замораживания		
			$R_{\text{изг}}$	$R_{\text{сж}}$	$R_{\text{изг}}$	$R_{\text{сж}}$	
Керамзитогазобетон	21,5	60	23,8	96,7	22,6	101,0	0,95
	16,0	60	—	—	20,1	86,2	0,85
	21,5	20	—	—	24,4	84,0	1,02
	16,0	20	—	—	24,9	72,3	1,04
Керамзитопенобетон	11,5	60	25,9	92,5	24,3	82,3	0,94
	8,0	60	—	—	24,3	66,1	0,94
	11,5	20	—	—	24,3	66,0	0,94
	8,0	20	—	—	23,2	61,8	0,90

рии образцов из керамзитогазобетона и керамзитопенобетона, когда после 200 циклов замораживания и оттаивания по стандартной методике (ГОСТ 7025—54) прочность при изгибе образцов снизилась на 16%. Известно, что прочность на растяжение при изгибе является весьма чувствительным показателем коррозионного разрушения и снижение ее наблюдается уже тогда, когда стандартный показатель — прочность при сжатии — еще не уменьшается.

Проведенные ранее по той же методике испытания образцов в виде кубов размером $10 \times 10 \times 10$ см также свидетельствуют о высокой морозостойкости поризованных легких бетонов. Так, образцы из керамзитогазобетона с объемным весом в сухом состоянии 1000 кг/м^3 и прочностью при сжатии 90 кг/см^2 , изготовленные на курганском керамзитовом гравии с объемным насыпным весом 560 кг/м^3 , выдержали до появления начальных признаков разрушения 905 циклов попеременного замораживания при температуре -15°C и оттаивания.

Изучение морозостойкости поризованных керамзитобетонов представляет особый интерес в связи с проблемой их долговечности. Поэтому целесообразно высказать ряд соображений о факторах, влияющих на морозостойкость этих бетонов, а также об их поведении при замораживании.

Известно, что поризация обычных тяжелых бетонов уже давно и успешно применяется как способ существенного повышения их морозостойкости. Вводя в состав бетонов воздухововлекающие добавки, газовыделяющие добавки типа ГКЖ-94, алюминиевую пудру и др., стремятся к поризации цементного теста, создавая в его структуре систему сравнительно мелких и равномерно распределенных по объему пор. Наиболее убедительное объяснение эффекта поризации дает гипотеза о механизме морозного разрушения, по которой гидравлическое давление, возникающее в результате продавливания льдом незамерзшей воды через цементный камень, разрушительно действует на бетон. Малая толщина стенок, отделяющих заполненные водой капиллярные пустоты от полученных при воздухововлечении или газовыделении воздушных пор (составляющая по некоторым данным до $0,2 \text{ мм}$), не позволяет развиваться значительным давлениям вследствие низкого гидравлического сопротивления таких стенок продавливанию воды.

Известно, однако, что положительный эффект поризации при увеличении количества воздухововлекающих добавок проходит через максимум, т. е. наибольшее повышение морозостойкости наблюдается лишь при некоторой средней пористости бетона. На рис. 4 приведены

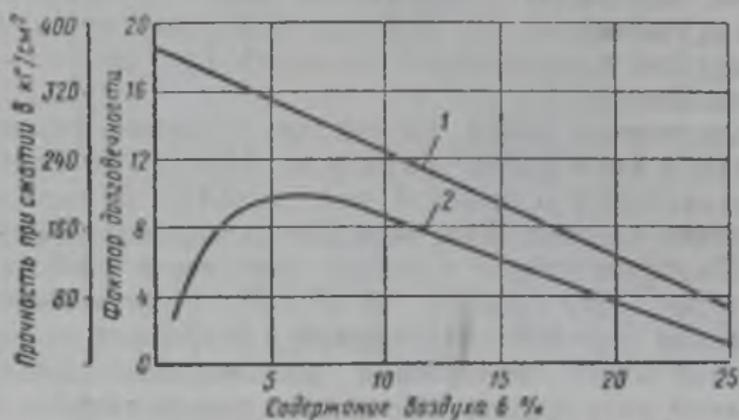


Рис. 4. Влияние воздухововлечения на свойства тяжелого бетона

1 — прочность при сжатии; 2 — долговечность

кривые, показывающие, как влияет воздухововлечение на основные свойства тяжелого бетона [6]. Из рисунка видно, что в отличие от других свойств зависимость долговечности от содержания воздуха в бетоне на плотном заполнителе носит экстремальный характер. Для легких бетонов оптимальное содержание воздуха может быть больше, но характер кривой, проходящей через максимум, нужно полагать, сохраняется.

Это обстоятельство объясняется, очевидно, как значительным снижением прочности бетона при увеличении его пористости, так и большим разрушительным действием воды, замерзающей в тех крупных порах, которые могут заполниться ею почти целиком, и где она удерживается за счет капиллярных сил. Отсюда следует, очевидно, что поры достаточно большой величины, не удерживающие воду, могут в ряде случаев не оказывать заметного отрицательного влияния на морозостойкость, как, например, в крупнопористом бетоне.

Исходя из этих соображений, можно сформулировать следующие требования к морозостойкой поризованной структуре:

а) в ней должно быть минимальное количество капиллярных пустот, способных удерживать влагу;

б) она должна содержать условно закрытые воздушные поры в таком количестве, чтобы средняя толщина стенок пор, отделяющих их от капилляров, была близка к десятым долям мм (около 0,2 мм).

Исходя из этих условий полученные в эксперименте результаты можно оценить следующим образом. Влияние влажности бетона проявлялось вполне закономерно: с увеличением влажности возрастали остаточные деформации образцов как керамзитогазобетона, так и керамзитопенобетона. Известно, что в гетеропористом теле капиллярное равновесие устанавливается таким образом, что прежде всего заполненными водой оказываются мелкие поры. Следовательно, чем меньше влажность бетона, тем больше в нем резервных, не заполненных водой, воздушных пор и тем меньше величина развивающегося в нем при замораживании гидравлического давления.

В керамзитобетоне как при увеличении температуры замораживания от -20°C до -60°C , так и с повышением влажности от 8 до 11,5% в целом наблюдается незначительный рост деформаций расширения, что, по-видимому, свидетельствует о том, что бетоны при этой влажности далеки от опасной степени водонасыщения и, следовательно, морозостойки.

В керамзитогазобетоне при влажности 16% и температуре его замораживания -20°C и -60°C , а также при влажности 21,5% и температуре замораживания -20°C наблюдается та же картина, что и у керамзитопенобетона: деформации невелики по абсолютной величине и незначительно растут с увеличением влажности и температуры. Однако при влажности 21,5% и температуре замораживания -60°C уже наблюдается сравнительно быстрый рост деформаций, свидетельствующий о том, что в условиях быстрого замораживания влажность бетона 21,5% несколько приближается к опасной степени водонасыщения, хотя, по-видимому, еще достаточно далека от нее.

Весьма интересным моментом, выявившимся в исследованиях, оказалось несовпадение в целом оценок морозостойкости по остаточным деформациям расширения и изменению динамического модуля упругости.

Принято считать, что остаточные деформации бетонов

при их замораживании возникают в результате микро-трещинообразования в бетоне и что динамический модуль упругости весьма чувствителен к этому процессу. Однако в нашем эксперименте увеличение остаточных деформаций поризованных керамзитобетонов сопровождалось устойчивым ростом динамического модуля упругости при увеличении числа циклов замораживания. Этому факту трудно пока дать однозначное объяснение. Кроме напрашивающихся соображений о том, что здесь конструктивные процессы преобладают над деструктивными и происходит быстрое и эффективное «залечивание» образующихся при замораживании дефектов, следует учесть еще одно обстоятельство.

Можно предположить, что процесс поризации как при получении керамзитопенобетона, так и при изготовлении керамзитогазобетона приводит к образованию в структуре остаточных собственных напряжений II рода [7]. Поскольку при поризации газ в бетоне сжат в структуре, по условиям равновесия системы, возникают, главным образом, остаточные напряжения растяжения. Когда же в бетоне при замораживании генерируется положительное гидравлическое давление, оно также приводит к возникновению растягивающих напряжений в структуре и способствует нарушению контактов между слагающими ее частицами [8]. Структура, в которой существовали собственные начальные напряжения растяжения, будет при этом увеличиваться в размерах тем сильнее, чем выше в ней суммарные напряжения растяжения. При этом снятие собственных структурных напряжений может явиться частью того суммарного конструктивного эффекта, который приводит к повышению динамического модуля упругости при замораживании.

Не исключено, что величина напряжений, возникающих вследствие замораживания в поризованных бетонах в течение определенного количества циклов испытаний, может оказаться недостаточной для того, чтобы вызвать в них деструктивные процессы.

Вопрос о собственных напряжениях в поризованных бетонах и их влиянии на поведение этих бетонов при замораживании заслуживает дальнейшего изучения.

Представляется несколько странным поведение образцов из керамзитопенобетона с влажностью 8%, замораживаемых при температуре -20°C , которые в начальных циклах замораживания дали усадку. По-

сколькo испытание велось параллельно на трех образцах, дело здесь, очевидно, не в ошибке отдельного определения. Сам этот факт также свидетельствует о хорошей морозостойкости образцов. Может быть высказано несколько предположений о причине этого явления, например: собственные напряжения сжатия в структуре, вызванные усадкой при хранении, влияние деформаций сжатия льда при оттаивании и др.

В заключение необходимо сделать еще одно замечание. Поризация цементного камня в керамзитобетоне применяется, в основном, для снижения объемного веса бетона и уменьшения его теплопроводности, которая, в свою очередь, определяет теплозащитные свойства ограждающих конструкций. Очевидно, необходимо найти такой разумный предел степени воздухововлечения поризованных легких бетонов, который обеспечивал бы получение бетона необходимого объемного веса и обладающего в то же время высокой морозостойкостью и долговечностью. Для поризованных бетонов эта оптимальная величина, вероятно, находится в пределах 10—15%, тогда как для тяжелых бетонов, к которым не предъявляются требования по теплопроводности, она составляет 5%. Увеличение содержания воздуха в тяжелых бетонах приводит к снижению их долговечности (см. рис. 4), однако даже при 10—15% воздухововлечения долговечность бетона все же выше, чем при отсутствии поризации.

Выводы

1. Морозостойкость поризованных бетонов, как это следует из экспериментов, существенно превосходит требования стандарта к стеновым материалам.

2. Достаточно высокая морозостойкость характерна для керамзитобетонов при условии их рациональной и контролируемой поризации.

3. Оптимальную степень воздухововлечения (поризации) следует выбирать из расчета получения не только необходимого объемного веса изделий, но и максимальной долговечности бетона.

4. Испытания на морозостойкость являются проверочными и позволяют судить об общей долговечности мате-

риала. В связи с этим поризованные легкие бетоны на пористых заполнителях можно рекомендовать в экспериментальном порядке к применению в качестве стенового материала при строительстве на Крайнем Севере.

В процессе экспериментального строительства необходимо получить данные о реальном влагонакоплении в ограждающих конструкциях, изготовленных из этих бетонов.

5. На основании проведенных испытаний можно сделать предположительный вывод о том, что наличие деформаций расширения поризованных бетонов в первый период их испытаний на морозостойкость не позволяет надежно судить о морозостойкости этих бетонов.

6. Необходимо разработать (предложение В. М. Москвина) метод испытания на морозостойкость стеновых материалов, который позволил бы воспроизвести реальные условия увлажнения и замораживания бетонов в ограждающих конструкциях зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бужевич Г. А., Довжик В. Г., Бугрим С. Ф., Киселев Д. П., Кривицкий М. Я., Понасюженков Я. Д., Фролова Л. В. «Поризованный керамзитобетон». Стройиздат, 1969.

2. Бугрим С. Ф. «Стеновые панели из керамзитогазобетона». Сыктывкар, 1966.

3. Киселев Д. П., Кудрявцев А. А. «Поризованные легкие бетоны», Стройиздат, 1966.

4. Мешкаускас Ю. И., Баркаускас В. И., Мажейка Р. А., Жилинскас Р. П. «Керамзитобетон». Изд-во «Минтис», Вильнюс, 1968.

5. Москвин В. М., Капкин М. М., Мазур Б. М., Подвальный А. М. «Стойкость бетона и железобетона при отрицательной температуре». Стройиздат, 1967.

6. Руководство по бетону. Перевод с англ. яз., под ред. Б. П. Матвеева. Госэнергоиздат, 1958.

7. Куннос Г. Я., Лапса В. Х., Солодовников А. Б. Релаксация технологических напряжений, вызванных вспучиванием газобетона. Сборник «Ползучесть и усадка бетона». Стройиздат, 1969.

8. Подвальный А. М. О ползучести замораживаемого бетона. Доклады Академии наук СССР, 148, № 5, 1963.

КЕРАМЗИТОБЕТОН ДЛЯ СУДОСТРОЕНИЯ

С целью определения возможности применения конструктивного керамзитобетона марок 350 и 400 для изготовления корпусов железобетонных судов и плавучих сооружений (доков, дебаркадеров, плавмастерских, волноломов и т. п.), предназначенных к эксплуатации в морях Крайнего Севера и Дальнего Востока СССР, нами были проведены специальные исследования стойкости данного бетона.

В комплекс исследований были включены:

изыскание эффективных добавок, обеспечивающих существенное повышение стойкости керамзитобетона и удобообрабатываемости керамзитобетонных смесей;

изучение основных показателей стойкости (морозостойкости, водостойкости, атмосферостойкости, защитных свойств по отношению к арматуре) керамзитобетона и сопоставление их с соответствующими показателями обычного тяжелого бетона, который более двадцати лет применяется для постройки корпусов морских железобетонных судов, успешно эксплуатируемых в суровых климатических условиях.

Для приготовления бетонов были применены: низкоалюминатный алитовый портландцемент марки 500, промытый кварцевый песок средней крупности, керамзитовый гравий фракций 5—10 и 10—20 мм, а также промытый гранитный щебень фракций 5—10, 10—15 и 15—20 мм.

Гравий керамзитовый поставлялся Керченским заводом строительных материалов и имел насыпной объемный вес в пределах 600—800 кг/м³ и прочность при сжатии в цилиндре 60—80 кг/см². Он соответствовал требованиям ГОСТ 9759—65, а также техническим условиям РТУ 624—62 «Гравий керамзитовый для постройки морских железобетонных судов».

Составы плотного керамзитобетона и обычного тяжелого бетона приведены в табл. 1. При проектировании был применен принцип равенства абсолютных объемов, что позволило сопоставить основные показатели стойкости исследованных бетонов повышенной плотности, имевших примерно равные объемы растворной составляющей.

Исходные составы керамзитобетона и тяжелого бетона

Вид бетона	Маркировка бетона по технологической инструкции в зависимости от области применения	Марка бетона	Область применения бетона в судовой конструкции	Осадки конуса бетонной смеси в см	Расход составляющих на 1 м ³ уложенной бетонной смеси в кг/л*					
					портланд-цемент	кварцевый песок	крупный заполнитель фракций в мм			вода в л
							5—10	10—20	15—20	
Керамзитобетон	С-1к	400	Изготовление секций борта	2—4	<u>500</u> 160	<u>640</u> 247	<u>260</u> 194	<u>235</u> 194	—	205
	С-3к	400	Омоноличивание межсекционных соединений	8—10	<u>525</u> 170	<u>520</u> 200	<u>510</u> 380	—	—	250
Тяжелый бетон на гранитном щебне	С-1т	400	Изготовление секций борта	2—4	<u>500</u> 160	<u>635</u> 245	<u>180</u> 68	<u>300</u> 96	<u>600</u> 235	185
	С-3т	400	Омоноличивание межсекционных соединений	8—10	<u>525</u> 170	<u>635</u> 245	<u>1070</u> 380	—	—	205

* В графах расхода составляющих над чертой приведены расходы материалов в кг, а под чертой в л (в плотном теле).

Нами изучалось влияние на стойкость и другие свойства бетона добавок кремнийорганических соединений (ГКЖ-10, ГКЖ-11 и ГКЖ-94), сульфитно-спиртовой барды (ССБ) и нитрита кальция $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$. Кроме того, в керамзитобетон вводились следующие комплексные добавки: $\text{ГКЖ-10} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; $\text{ССБ} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, которые должны были способствовать формированию структуры керамзитобетона повышенной стойкости и, наряду с этим, существенно улучшать удобообрабатываемость керамзитобетонных смесей. Все эти добавки отвечали требованиям соответствующих ГОСТ и ТУ.

При выборе сочетаний компонентов добавки учитывалась необходимость довести до минимума продолжительность выдержки керамзитобетона с добавками (кремнийорганических соединений и др.) перед тепло-влажностной обработкой.

Оптимальные пределы расходов компонентов добавок были приняты по литературным источникам и на основании поисковых работ, а затем уточнены экспериментальным путем.

Влияние однокомпонентных и комплексных добавок на структурообразование цементного камня изучалось по изменениям пластической прочности, сроков схватывания и нормальной плотности цементного теста и по кинетике гидратации цемента. Пластическую прочность цементного теста определяли на коническом пластометре системы МГУ, а сроки схватывания и нормальную плотность — по стандартной методике. Для изучения кинетики гидратации цемента был применен метод, основанный на удалении связанной воды из цементной системы путем ее нагрева. Результаты этих исследований приведены на рис. 1 и 2.

Исследование влияния добавок на структурообразование цементного камня показало, что применение выбранных добавок позволяет направленно влиять на кинетику формирования структуры цементного камня за счет изменений их сочетаний и расхода, а также времени введения в замес.

Так, при введении в цементное тесто с водой затвердения добавок кремнийорганических соединений ГКЖ-94 и ГКЖ-10 процесс твердения теста затормаживается (рис. 1); добавка же нитрата кальция ускоряет рост прочности цементного камня. Применяя комплексную добавку, состоящую из кремнийорганического соедине-

ния и нитрата кальция, можно получить близкие кинетические показатели формирования структуры цементного камня с добавкой и без нее, а также влиять на сроки начала и конца схватывания цементного теста.

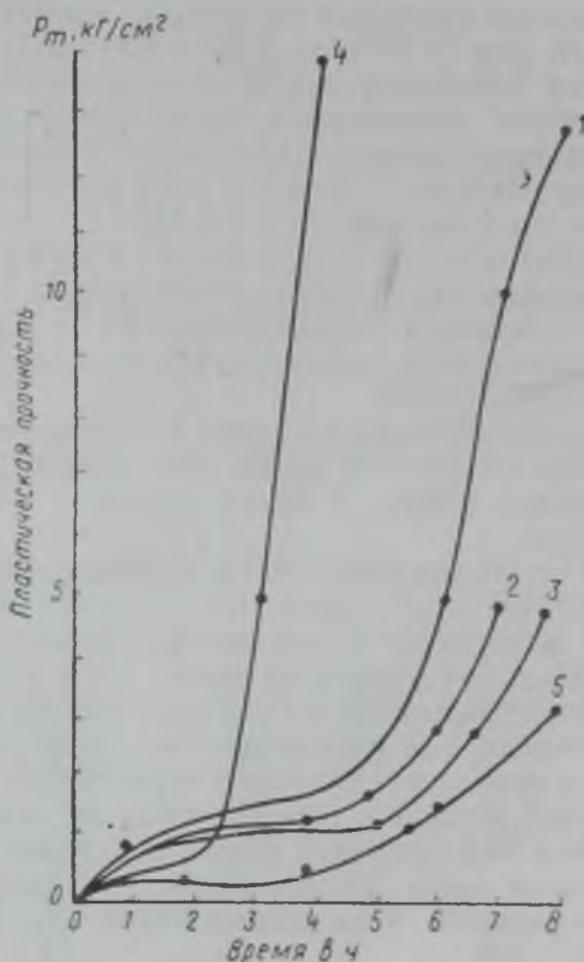


Рис. 1. Влияние добавок на пластическую прочность цементного теста

1 — эталон (без добавки); 2 — с добавкой ГКЖ-10 — 0,05% + Ca(NO₃)₂ — 1%; 3 — то же, но электролит введен на 3 мин позднее; 4 — с добавкой Ca(NO₃)₂ — 1%; 5 — с добавкой ГКЖ-10 — 0,05%

Установлено, что если ввести в цементное тесто комплексную добавку, содержащую нитрат кальция, на три минуты позже кремнийорганического соединения, то в течение двух-трех часов будет наблюдаться значительное замедление процессов структурообразования (рис. 2), а затем степень гидратации и скорость твердения цемента

придут в соответствие с аналогичными показателями, полученными при одновременном введении компонентов добавки.

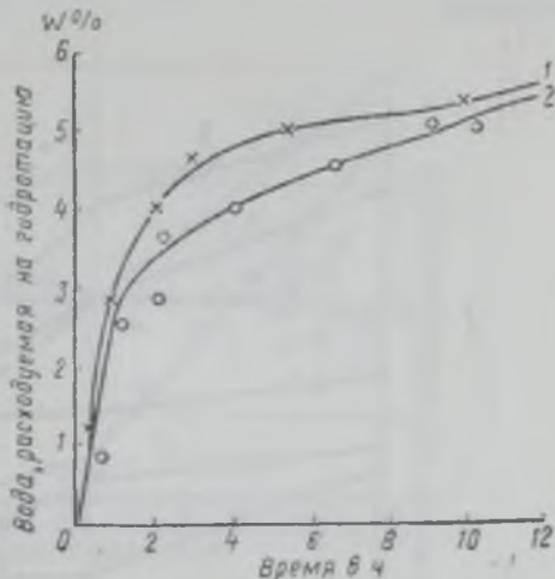


Рис. 2. Кинетика гидратации цемента с добавкой ГКЖ-10 + $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

1 — одновременное введение электролита и ГКЖ-10; 2 — электролит введен на 3 мин позднее

Приведенные выше выводы имеют практическое значение.

Они показывают, что применение комплексной добавки $\text{ГКЖ-10} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ позволяет добиться длительной пластификации керамзитобетонных смесей и, кроме того, сокращения до нормальной продолжительности выдержки керамзитобетона по сравнению с однокомпонентной добавкой ГКЖ перед тепловлажностной обработкой.

Исследования подтвердили, что введение в керамзитобетон комплексных добавок, состоящих из нитрата кальция и ГКЖ-10 или ССБ, позволяет на 9—15% сократить расход воды при подборе состава бетона с учетом заданной подвижности керамзитобетонной смеси. В то же время отмечено, что добавка $\text{ГКЖ-10} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ способствует еще и длительному (до 60 мин) сохранению керамзитобетонной смесью заданных показателей удобообрабатываемости (рис. 3).

Анализ влияния однокомпонентных добавок кремнийорганических соединений (ГКЖ-10, ГКЖ-94) и этих же добавок в комплексе с нитратом кальция на воздухововлечение (газосодержание) и расслаиваемость керамзитобетонной смеси показал, что введение электролита

не вызывает существенных отклонений показателей воздухоовлечения и расслаиваемости от соответствующих данных, полученных при введении однокомпонентных добавок.

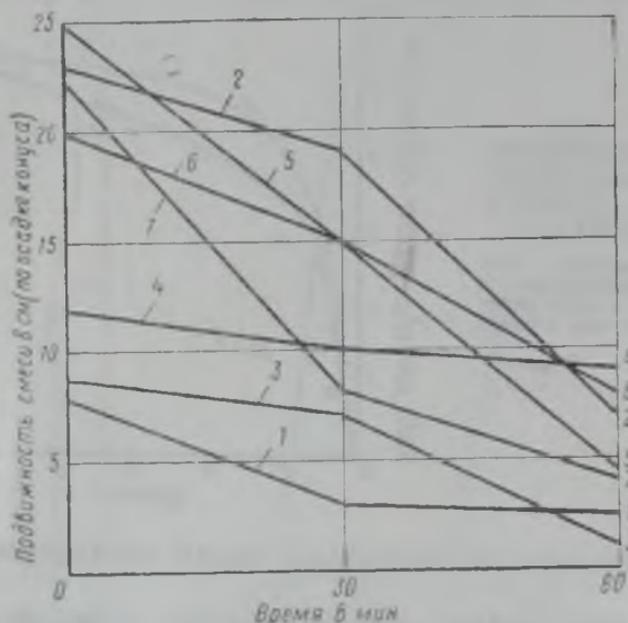


Рис. 3. Влияние добавок на изменение подвижности во времени керамзитобетонной смеси состава С-3к ($B/C=0,45$)

1 — керамзитобетонная смесь состава С-3к без добавок; 2 — то же, с добавкой ГКЖ-10 — 0,1%; 3 — то же, с добавкой $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ — 1,5%; 4 — то же, с добавкой ГКЖ-94 — 0,1%; 5 — то же, с добавкой ССБ — 0,15%; 6 — с добавкой $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ — 1,5+ГКЖ-10 — 0,1%; 7 — то же, с добавкой $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ — 1,5%+ССБ — 0,15%

По изменениям показателей структурной прочности растворной составляющей керамзитобетона, его прочности при сжатии, объемного веса, общей пористости, а также по внешнему виду установлено, что оптимальная продолжительность выдержки перед тепловлажностной обработкой керамзитобетона с однокомпонентными добавками кремнийорганических соединений составляет 10—12 ч. При введении же совместно с кремнийорганическими соединениями добавки нитрата кальция период выдержки перед тепловлажностной обработкой керамзитобетона без добавок и с комплексной добавкой, содержащей ГКЖ-10 или ГКЖ-94, составляет 4 ч.

Добавки влияют на микротвердость контактной зоны между керамзитом и цементным камнем (рис. 4).

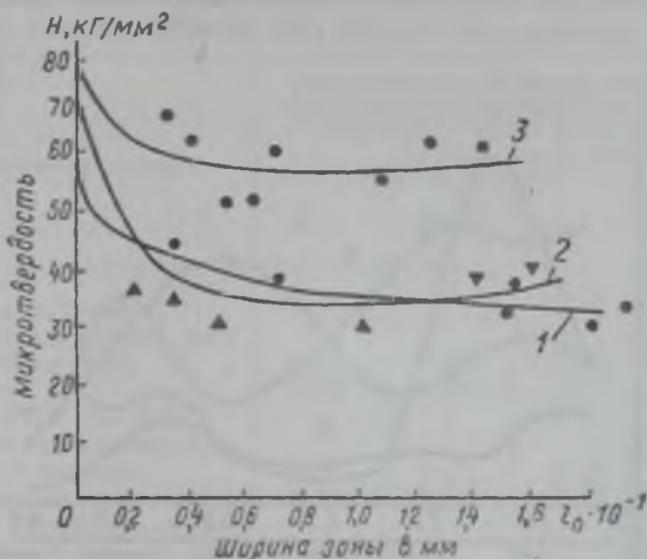


Рис. 4. Распределение микротвердости контактной зоны цементного камня на границе с керамзитом

1 — эталон (без добавки); 2 — добавка ГКЖ-10 — 0,05%;
3 — добавка ГКЖ-10 — 0,05% + Ca(NO₃)₂ — 1%

Введение одного кремнийорганического соединения несколько понижает микротвердость зоны контакта и прилегающего цементного камня. Применение же комплексной добавки, состоящей из кремнийорганического соединения и электролита, приводит к тому, что микротвердость контактной зоны увеличивается. Микротвердость контактной зоны определяли на твердомере ПМТ-3.

Для изучения влияния добавок на формирование структуры порового пространства цементного камня и растворной составляющей керамзитобетона были применены методы ртутной порометрии при высоких [до 3500 ат (изб.)] и низких [до 1 ат (изб.)] давлениях, а также способы низкотемпературной адсорбции азота и оптической микроскопии.

Результаты отдельных исследований представлены на рис. 5 и в табл. 2. Они позволяют сделать вывод о том, что введение комплексных добавок, состоящих из кремнийорганического соединения и нитрата кальция, способствует формированию структуры порового прост-

раиства растворной составляющей керамзитобетона с минимальным количеством макрокапилляров радиусом более $1 \cdot 10^{-5}$ см. Отмечено также увеличение общей пористости растворной части (на 2—4% объема раство-

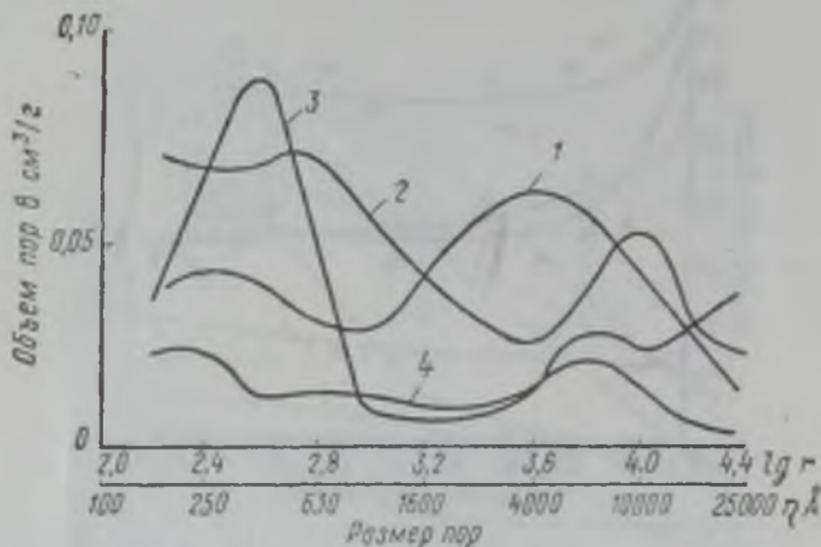


Рис. 5. Дифференциальные кривые распределения пор по радиусам в образцах из цементного раствора (состав 1 : 2, $B/C = 0,35$) с исследуемыми добавками

1 — растворная составляющая состава С-1 без добавок; 2 — то же, с добавкой ГКЖ-10 — 0,05%; 3 — то же, с добавкой $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ — 1% + ГКЖ-10 — 0,05%; 4 — то же, с добавкой $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ — 1%

ра) в основном за счет формирования «условно замкнутых» пор, что должно повысить качество бетона.

С целью проверки указанных предпосылок проведены исследования влияния комплексных и однокомпонентных добавок на морозостойкость, водопоглощение и водо-, газо-, нефтепроницаемость высокопрочного керамзитобетона.

Керамзитобетон испытывался на морозостойкость по ГОСТ 4800—59 в морской воде соленостью 32 г/л. Результаты испытаний, приведенные в табл. 3, подтвердили правильность предположений о направленном воздействии комплексной добавки $\text{ГКЖ-10} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (с одновременным сокращением исходного B/C) на формирование структуры керамзитобетона, что повышает его морозостойкость. Установлена также целесообразность применения для повышения морозостойкости конструктивного керамзитобетона однокомпонентных добавок типа

Влияние добавок на пористость цементного камня из теста нормальной густоты и растворной составляющей (состав 1:2, $B/C=0,35$)

Вид и количество добавки	Пористость в % от объема цементного камня и раствора, определенная на шлифах с помощью светового микроскопа, при размерах пор в $\overset{\circ}{A} \cdot 10^{-2}$ см			
	$\overset{\circ}{A} < 1$	$\overset{\circ}{A} = 1 \div 5$	$\overset{\circ}{A} > 5$	Общая
Без добавок				
Цементный камень нормальной густоты	0,2	0,36	0,15	0,71
Раствор	0,06	0,60	1,2	1,86
Добавка ГКЖ-10—0,05%				
Цементный камень нормальной густоты	1,2	0,71	0,15	2,06
Раствор	0,25	0,67	2,14	3,06
Добавки Са (NO ₃) ₂ —1%				
Цементный камень нормальной густоты	0,95	0,25	0,08	1,28
Раствор	0,12	0,72	0,82	1,66
Добавки Са (NO ₃) ₂ —1% + ГКЖ-10—0,05%				
Цементный камень нормальной густоты	1,7	0,2	0,45	2,35
Раствор	0,08	0,53	1,36	1,97
Добавка ГКЖ-94—0,05%				
Цементный камень нормальной густоты	3,36	2,0 ¹	2,45	7,81
Раствор	0,53	1,22	1,7	3,45

Примечание. Определение пористости осуществлено методом оптической микроскопии.

ГКЖ-94 и Са (NO₃)₂, хотя эффект от их введения меньше, чем от комплексной.

Влияние добавок на газо-, водо- и нефтепроницаемость устанавливалось по количеству жидкости или газа, просочившихся сквозь образец из керамзитобетона или тяжелого бетона при давлениях от 2 до 8 ат (изб). Результаты этих исследований приведены в табл. 4 и 5. Они свидетельствуют о том, что высокопрочный конструктивный керамзитобетон с комплексной добавкой ГКЖ-10+Са (NO₃)₂ и однокомпонентной добавкой Са (NO₃)₂ по непроницаемости по отношению к азоту, воде и бензину значительно превосходит обычный тяжелый бетон идентичного назначения.

Результаты испытаний керамзитобетона на морозостойкость по ГОСТ 4800—59

Вид и количество добавки в % от веса цемента	В/Ц	Прочность образцов при сжатии ($R_{сж}$) после замораживания и контрольных в эквивалентном возрасте в $кг/см^2$, а также коэффициенты морозостойкости (K) после циклов:														
		150			200			300			400			450		
		$R_{сж}$ после замора- живания	$R_{сж}$ в эквивалент- ном возрасте	K морозостойкости	$R_{сж}$ после замора- живания	$R_{сж}$ в эквивалент- ном возрасте	K морозостойкости	$R_{сж}$ после замора- живания	$R_{сж}$ в эквивалент- ном возрасте	K морозостойкости	$R_{сж}$ после замора- живания	$R_{сж}$ в эквивалент- ном возрасте	K морозостойкости	$R_{сж}$ после замора- живания	$R_{сж}$ в эквивалент- ном возрасте	K морозостойкости
Без добавки	0,45	233	411	0,54*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
То же	0,38	376	392	0,97	329	392	0,84	285	477	0,6	197	477	0,42	161	477	0,34
ГКЖ-94—0,05%	0,45	385	407	0,95	372	407	0,91	331	456	0,73	320	469	0,69	336	469	0,72
ГКЖ-10—0,1%	0,42	465	366	1,0	309	366	0,85	219	398	0,55	286	398	0,72	278	398	0,70
Са (NO ₃) ₂ —1,5%	0,44	429	441	0,97	486	441	1,0	339	493	0,68	351	540	0,65	253	540	0,47
ГКЖ-10—0,1%+ +Са(NO ₃) ₂ —1,5%	0,41	318	325	0,98	298	325	0,92	370	371	1,0	319	371	0,86	309	371	0,84

* Образцы сняты с испытаний после 135 циклов.

Влияние добавок на проницаемость растворной составляющей бетона
(состав раствора 1:2, $V/C=0,35$)

Вид и количество добавки в % от веса цемента	Коэффициенты проницаемости в размерности $\frac{см^3 \cdot см}{ат \cdot сек}$ ат (изб.) $\cdot см^3 \cdot сек$ при $P=2 ат (изб.)$		
	К азота	К воды	К бензина
ГКЖ-10—0,1% + $Ca(NO_3)_2$ — 1,5%	$10 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-6}$
ГКЖ-10—0,1%	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-7}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$
$Ca^{++}(NO_3)_2$ —1,5%	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
ССБ—0,15% + $Ca(NO_3)_2$ — 1,5%	$6 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-4}$
Эталон без добавки	Интенсивная фильтрация		

Примечание. Исследования проведены на приборе конструкции Ю. В. Чеховского.

С целью сопоставления стойкости керамзитобетона и обычного тяжелого бетона в условиях, близких к эксплуатационным, на Мурманской коррозионной станции проведены многолетние натурные испытания бетонов, уложенных в конструкции с обычной и предварительно напряженной арматурой. Опыты велись также с образцами-кубами и призмами из них. Изучались также защитные свойства бетонов по отношению к арматуре в условиях Сивашской коррозионной станции.

Образцы и конструкции в условиях Мурманской коррозионной станции были испытаны как при воздействии на них только естественных климатических факторов и морской воды в приливно-отливной, подводной, надводной зонах, так и по ускоренной методике [1].

В процессе испытаний состояние бетона в образцах оценивалось по изменениям их динамического модуля упругости, веса, прочности при сжатии, внешнего вида, а также по глубине карбонизации. В конструкциях состояние бетона изучалось по внешнему виду с оценкой по специальной пятибалльной шкале. Одновременно устанавливались защитные свойства бетона по отношению к арматуре при толщинах защитных слоев по 10 и 15 мм.

В процессе натурных испытаний на Мурманской кор-

Влияние добавок на нефтепроницаемость бетонов

Вид бетона и маркировка его состава (см. табл. 1)	Виды и количество добавки в% от веса цемента	В/Ц	Глубина проникания соляра в бетон по шести образцам-близнецам в мм	
			средняя	максимальная по двум плоскостям раскола шести образцов
Керамзитобетон состава С-1к (осадка конуса 2 см)	Эталонный состав керамзитобетона без добавок	0,43	7	9
	То же, с добавкой: ГКЖ-10—0,05%	0,40	5	7
	ГКЖ-10—0,1%	0,39	7	15
	Ca(NO ₃) ₂ —1,5%	0,41	1	1
	ССБ—0,15%	0,36	13	17
	ГКЖ-10—0,05+Ca(NO ₃) ₂ —1,5%	0,39	2	7
	ССБ—0,15%+Ca(NO ₃) ₂ —1,5%	0,38	3	12
Обычный тяжелый судостроительный бетон состава С-1т	Эталонный состав тяжелого бетона без добавок	0,36	45	50
	То же, с добавкой растворимого стекла 3,5%+ССБ—0,15%	0,41	18	32

розионной станции конструкции и образцы в соответствии с методикой, описанной в работе [2], прошли 1650—2050 циклов замораживания и оттаивания, в приливо-отливной зоне—950—1100 циклов*; в подводной и надводной зонах они находились 33—51 месяц.

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что керамзитобетон исходных составов С-1к и С-3к по комплексу показателей стойкости не уступает обычному тяжелому бетону составов С-1т и С-3т (см. табл. 1).

Данные, характеризующие влияние добавок на стойкость керамзитобетона, показывают, что во всех случаях

* Прим. ред. При описываемых ускоренных испытаниях морозостойкость получается примерно в 2—3 раза выше, чем при испытании по стандартной методике, что необходимо иметь в виду при оценке сравнительных результатов испытания.

она значительно повышается (в 1,5—2 раза), причем по убывающему эффекту действия добавки можно расположить в следующий ряд: ГКЖ-10+Ca(NO₃)₂; ГКЖ-94; ГКЖ-10 и Ca(NO₃)₂.

Тепловлажностная обработка, проведенная по мягкому режиму (изотермический прогрев 8 ч при 80°С, плавные подъем и спуск температуры), не повлияла существенно на стойкость керамзитобетона исходных составов и с исследуемыми добавками. Образцы же из обычного тяжелого бетона (исходных составов), подвергнутого тепловлажностной обработке, значительно разрушились.

Испытание на долговечность по ускоренной методике железобетонных плит с предварительно напряженной арматурой, а также изделий, арматура которых не подверглась предварительному напряжению, показали, что керамзитобетон в конструкции обладает большей стойкостью, чем обычный тяжелый бетон.

Экспериментальные работы по сопоставлению защитных свойств судостроительных керамзитобетона и обычного тяжелого бетона по отношению к арматуре проводились в условиях Сивашской коррозионной станции в течение двух лет. Одновременно изучалось влияние комплексных добавок и их компонентов на защитные свойства керамзитобетона по отношению к арматуре.

На испытательный стенд, расположенный над поверхностью озера Сиваш, были установлены бетонные образцы-призмы, предварительно два месяца находившиеся в воде соленостью 270 г/л. В бетонные образцы были помещены арматурные стержни из стали Ст.5пс и высокопрочной проволоки (ГОСТ 8480—57) с толщинами защитных бетонных слоев 10 и 15 мм.

Степень коррозии арматуры устанавливали как по потере веса стержня образца и площади, пораженной коррозией, так и по характеру коррозии (язвенная, слоистая) и размерам отдельных язв.

Анализ результатов испытаний (см. табл. 6) позволил выявить практически равные защитные свойства по отношению к арматуре у керамзитобетона исходных составов или с добавкой Ca(NO₃)₂, а также у обычного тяжелого бетона. Одновременно была установлена возможность значительного повышения защитных свойств керамзитобетона путем введения в него комплексной добавки ГКЖ-10+Ca(NO₃)₂.

Результаты осмотра арматуры после 1 года испытания
на Сивашской коррозионной станции для определения защитных
свойств керамзитобетона и обычного тяжелого бетона

Характеристика бетона, вид и содержание добавки в % от веса цемента	Вид арматуры после испытания					
	арматура Ст. 5пс по ГОСТ 5781-61			проволока по ГОСТ 8480-57		
	защитный слой бетона в мм	площадь корро- зии арматуры в %	наибольшая глу- бина язв в мм и средняя (под чертой)	защитный слой бетона в мм	площадь корро- зии арматуры в %	наибольшая глу- бина язв в мм и средняя (под чертой)
Керамзитобетон состава С-3к без добавок (эталон)	10	14	$\frac{252}{150}$	10	60-65	$\frac{551}{272}$
	15	12	$\frac{428}{191}$	15	57	$\frac{360}{250}$
То же, с добавкой ГКЖ-10-0,05%	10	5-7	$\frac{242}{150}$	10	40-50	$\frac{330}{214}$
	15	3-5	Один стержень чистый, коррозии нет	15	25	$\frac{517}{335}$
То же, с добавкой $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - 1%	10	6-37	$\frac{93}{51}$	10	40	$\frac{424}{317}$
			$\frac{90}{58}$			15
	15	6-25	$\frac{90}{58}$	15	26	$\frac{228}{70}$
			$\frac{118}{78}$			10
То же, с добавкой $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - 1%	15	3-5	$\frac{66}{40}$	15	19	$\frac{134}{80}$
			$\frac{123}{82}$			10
То же, с добавкой $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - 1,5%	15	1-3; 5-7	$\frac{49}{30}$	15	20	$\frac{233}{105}$
			$\frac{570}{223}$			15
Тяжелый бетон состава С-3т без добавок	15	20-25	$\frac{570}{223}$	15	60-65	$\frac{480}{257}$

Изучалось также влияние комплексных добавок на основные физико-механические свойства высокопрочного керамзитобетона (прочность при осевом сжатии и растяжении, а также растяжении при изгибе, деформативные показатели при кратковременном и длительном приложении сжимающей нагрузки и без нее).

Результаты исследований позволяют отметить, что введение в конструктивный керамзитобетон комплексных и однокомпонентных добавок при неизменном V/C не приведет к существенным отклонениям прочностных показателей бетона от полученных в результате испытаний керамзитобетона того же состава без добавок. Значительно (на 15—30%) может быть повышена прочность керамзитобетона при осевом растяжении, сжатии, а также растяжении при изгибе за счет уменьшения исходного V/C при подборе состава бетона с учетом пластифицирующих свойств добавок ССБ, КГЖ-10 и их сочетаний с нитратом кальция.

Исследования влияния добавок на деформации бетона при кратковременном и длительном статическом приложении сжимающей нагрузки показали, что введение всех рассмотренных выше добавок не вызывает существенных отклонений начальных модулей упругости, а также показателей усадки и ползучести от аналогичных показателей керамзитобетона исходного состава (без добавок). Изменяется лишь его объемный вес. Больше всего снижают вес бетона (до 3%) однокомпонентные добавки кремнийорганических соединений и их сочетания с нитратом кальция.

Выводы

1. Установлена принципиальная возможность применения керамзитобетона взамен обычного тяжелого бетона для изготовления наружных элементов корпусов морских железобетонных судов и плавучих сооружений, предназначенных для эксплуатации в морях Крайнего Севера и Дальнего Востока СССР.

2. Стойкость конструктивного керамзитобетона к воздействию суровых климатических факторов и морской воды может быть существенно повышена путем введения в керамзитобетон комплексной добавки, состоящей из кремнийорганического соединения ГКЖ-10 (ГКЖ-11) и нитрата кальция.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гладков В. С., Иванов Ф. М. Ускоренный метод испытания бетона на морозостойкость. Сб. трудов НИИЖБ. Стройиздат, 1966.

2. Меламед Э. Е., Гладков В. С., Иванов Ф. М. Морозостойкость высокопрочного керамзитобетона. «Бетон и железобетон», 1967, № 3.

*Канд техн. наук Г. П. КУРАСОВА,
инж. Р. Г. ФИГАРОВ*

КОНСТРУКТИВНЫЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН НА ИЗВЕСТНЯКОВОМ ПЕСКЕ

Известно, какой важной народнохозяйственной задачей является максимальное использование местных дешевых материалов и отходов производства для получения новых видов легких бетонов и изготовления из них эффективных строительных изделий и конструкций.

В нашей стране широко распространены карбонатные породы с различной степенью пористости. Пористые известняки, из которых изготовляют пильный камень, залегают в ряде областей РСФСР (в Поволжье, в Северо-Западном, Центральном, Уральском, Северокавказском, Сибирском экономических районах), а также в республиках Средней Азии, Украины, Молдавии и в Азербайджане.

Такие известняки характеризуются низкой прочностью и большой трещиноватостью, в результате чего при добыче камня объем отходов (песок, мелкие и крупные куски камня) составляет до 25% объема разрабатываемой горной породы.

Совместное использование в качестве заполнителей известнякового щебня и песка в зависимости от их объемного веса позволяет получить обычный тяжелый или облегченный бетоны с объемным весом 2,4—2,0 т/м³ [2, 5, 6, 7].

Для уменьшения объемного веса бетонов на карбонатных заполнителях было предложено применять керамзитовый гравий с известняковым песком. При этом учитывалось, что в ряде мест, где есть такой известняко-

вый наполнитель, можно будет отказаться от применения дефицитных керамзитовых песков. В НИИЖБ были проведены соответствующие исследования.

В наших опытах был использован известняковый песок Шиховского каменного карьера (г. Баку) фракций 0—5 мм, объемный насыпной его вес 1400—1500 кг/м³, а после виброуплотнения — 1850 кг/м³; удельный вес 2,72 г/см³.

При ситовом анализе средних проб полные остатки в % по весу составляли:

на сите	2,5	мм	—	5,8%
»	»	1,25	»	— 12,6%
»	»	0,63	»	— 32,6%
»	»	0,315	»	— 56,6%
»	»	0,014	»	— 86,6%

Через сито № 014 прошло 12,6% песка. Модуль крупности известнякового песка был равен 1,94, следовательно, наполнитель относится к мелким пескам.

Средний химический состав сухого известнякового песка характеризуется следующими данными: SiO₂ — 6,25%; Al₂O₃ — 1,10%; Fe₂O₃ — 0,5%; CaO — 50,90%; MgO — 1,25%; Na₂O — 0,13%; K₂O — 0,16% и п. п. п. — 40,07%.

Керамзитовый гравий фракций 5—20 мм (поставляемый заводом им. Калинина, г. Баку) имел объемный насыпной вес 500—600 кг/м³ и удельный вес 2,45 г/см³. Прочность смеси керамзитового гравия составила 30—35 кг/см²; коэффициент размягчения — 0,8; водопоглощение по весу — 12,8%. В качестве вяжущего применялся портландцемент Белгородского завода. Тонкость помола цемента характеризовалась остатком на сите № 008 — 3,9%, а остаток — на сите № 02 — 0,2%. Активность цемента в 28-суточном возрасте составила 376 кг/см² (по ГОСТ 310—60).

Подбор состава конструктивного легкого бетона марки 300 на указанных наполнителях сводился к нахождению оптимального соотношения между керамзитовым гравием и песком, а также требуемого В/Ц и расхода цемента при жесткостях бетонной смеси порядка 40—50 сек. При этом принимали два расхода песка — 30 и 40% объема наполнителей, меньший из которых примерно соответствовал объему межзерновой пустотности уплотненного крупного наполнителя в бетоне. Соотноше-

ние фракций 5—10 и 10—20 мм керамзитового гравия было принято равным 1 : 1 по объему, что соответствовало принятому для смеси фракций, поставляемых керамзитовым заводом в г. Баку.

При каждом из принятых расходов песка изготавливали по 3—4 серии образцов с одинаковой жесткостью смеси и разными расходами цемента. В связи с тем что внедрение нового вида легкого бетона предусматривалось начать с многопустотных плит перекрытий, жесткость легкогобетонной смеси была принята равной 40—60 сек, т. е. такой же, как и жесткость смеси на тяжелых заполнителях для указанных конструкций.

Одновременно были изготовлены легкогобетонные смеси еще двух жесткостей: $J=20 \div 25$ и $J=10 \div 15$ сек. Это охватывает диапазон возможных значений жесткостей смеси, применяемых для приготовления конструктивного легкого бетона.

При приготовлении каждого бетонного замеса подбирали расход воды с тем, чтобы смесь имела требуемую жесткость, проверенную в соответствии с ГОСТ 11051—64. При подборе смеси образцы изготавливали в соответствии с требованиями ГОСТ 11050—64, объемный вес уплотненной смеси проверяли по формулам, приведенным в данном стандарте для последующего подсчета фактического расхода материалов на 1 м³.

Бетонную смесь перемешивали в бетономешалке принудительного действия емкостью 80 л в течение 4—5 мин. Образцы-кубы 10×10×10 см уплотняли на лабораторной виброплощадке (при параметрах 3000 кол/мин и амплитуде колебаний без нагрузки 0,35 мм) в течение 2 мин с пригрузом 50 кг/см². Кубы после изготовления пропаривали при температуре 80—85°C по режиму: 3+8+3 ч. После пропаривания, но не ранее чем через 4 ч, образцы измеряли, взвешивали и испытывали на сжатие.

Результаты испытания изготовленных образцов приведены в табл. 1. Из данных этой таблицы видно, что для составов с одной и той же жесткостью бетонной смеси величина V/C повышается с увеличением расхода цемента, при этом снижается и суммарный расход заполнителей. В составах с большим расходом песка значения V/C выше, чем в составах с меньшим расходом мелкого заполнителя. По этой же причине водопотребность бе-

Результаты подбора составов керамзитобетона на известняковом песке

Жесткость бетонной смеси в сек	Расход материалов на 1 м ³ уложенного бетона				В/Ц	Фактическая жесткость бетонной смеси в сек	Кэффициент выхода бетона К _в	Объемный вес бетона в кг/м ³			Весовая влажность бетона при испытании на прочность при сжатии в %	Прочность при сжатии после пропаривания образцов в кг/см ²
	портланд-цемент Белгородского завода М400 в кг	керамзитовый гравий в л	известняковый песок в л	вода в л				свежеотформованного	после пропаривания	в естественном состоянии		
Содержание песка в бетоне 30% объема заполнителей												
10—15	293	1030	400	186	0,62	10	0,600	1572	1532	1440	6,5	178
	396	1029	400	198	0,50	13	0,575	1685	1640	1544	6,2	208
	460	956	375	195	0,42	15	0,593	1667	1618	1500	8,2	225
20—25	294	1002	400	171	0,58	20	0,607	1600	1528	1445	5,7	176
	380	1002	397	200	0,48	25	0,582	1690	1643	1540	6,8	250
	479	996	390	179	0,36	24	0,570	1717	1674	1585	6,6	230

Жесткость бетонной смеси в сек	Расход материалов на 1 м ³ уложенного бетона				В/Ц	Фактиче- ская жест- кость бе- тонной смеси в сек	Кэф- фици- ент вы- хода бетона К _в	Объемный вес бетона в кг/м ³			Весовая влажность бетона при испытании на проч- ность при сжатии в %	Прочность при сжа- тии после пропарива- ния образ- цов в кг/см ²
	портланд- цемент Белгород- ского за- вода М400 в кг	керамзи- товый гра- вий в л	извест- няко- вый песок в л	вода в л				свежеот- формован- ного	после пропаривания			
									в естест- венном состоянии	в высу- шенном состоянии		
40—50	300	1040	400	162	0,54	45	0,596	1570	1535	1450	5,7	211
	391	1010	393	171	0,44	47	0,582	1664	1622	1495	6,5	217
	464	965	378	186	0,40	50	0,583	1665	1625	1530	6,8	240

Содержание песка в бетоне 40% объема заполнителей

10—15	290	830	556	230	0,79	10	0,621	1820	1750	1640	6,3	148
	347	745	500	228	0,66	12	0,652	1820	1750	1630	7,1	179
	441	756	510	253	0,58	15	0,623	1846	1782	1660	7,1	225
20—25	299	850	573	210	0,70	20	0,603	1800	1743	1630	6,8	217
	357	750	500	208	0,59	22	0,655	1800	1781	1670	6,4	229
	433	742	497	227	0,53	23	0,636	1835	1781	1660	6,4	245
40—50	287	821	550	180	0,63	40	0,628	1869	1815	1710	5,7	220
	358	769	518	190	0,53	43	0,640	1758	1717	1640	6,1	230
	413	703	475	196	0,47	50	0,666	1821	1774	1670	6,1	306

тонных смесей, при которой обеспечивается одна и та же их жесткость, увеличивается на 16—20% с увеличением расхода песка от 30 до 40% (от объема заполнителей).

Характерна тенденция к некоторому увеличению объемного веса керамзитобетона по мере повышения расхода цемента. Колебания же γ_6 , независимо от расхода цемента и консистенции бетонной смеси, не превышают 5—10% при одинаковом соотношении крупного и мелко-го заполнителя. Так, объемный вес керамзитобетона в сухом состоянии колеблется в среднем в пределах 1630—1710 кг/м³ при 40% песка в смеси заполнителей и в пределах 1440—1585 кг/м³ при 30% песка. Следовательно, увеличение расхода песка с 30 до 40% привело к повышению объемного веса керамзитобетона до 10%.

Анализируя результаты испытания всех образцов, следует отметить, что наибольшая прочность бетона была достигнута при расходе цемента 400—450 кг/м³. При этом количество песка мало сказалось на величине максимальной прочности смесей с жесткостью $Ж=10 \div \div 25$ сек, для смесей же с $Ж=40 \div 50$ сек при 40% песка прочность была значительно больше, чем при 30% песка.

Поэтому, если необходимо получать бетонные смеси с показателями жесткости от 10 до 25 сек, целесообразен расход известнякового песка 30%, поскольку это уменьшает объемный вес бетона и не влияет на его прочность; при большей же жесткости смеси рекомендуется увеличивать расход песка до 40%.

В пустотных плитах перекрытий требуемая жесткость бетонной смеси должна быть 40—60 сек и прочность бетона при сжатии — 300 кг/см². Этому требованию удовлетворяет состав, приведенный в последней строке табл. 1. Прочность при сжатии после пропаривания кубов с ребром 10×10 см была равна 306 кг/см². Объемный вес такого бетона в сухом состоянии 1670 кг/м³. Требуемый расход цемента — 413 кг/м³. Из выбранного состава были изготовлены кубы с ребром 15 см, которые испытывались после пропаривания и в возрасте 28 суток. В последнем случае прочность при сжатии пропаренного керамзитобетона в образцах 15×15×15 см была 298 кг/см² при объемном его весе в естественном состоянии 1,68 т/м³; после же пропарки соответственно прочность бетона была 250 кг/см² и $\gamma = 1,71$ т/м³.

Как известно, жесткие бетонные смеси при их уклад-

ке на виброплощадках требуют применения пригруза, величина которого назначается в зависимости от вида бетона. В наших опытах для выявления влияния величины пригруза на прочность керамзитобетона на известняковом песке были изготовлены из рекомендуемого состава с жесткостью $J=45 \div 55$ сек кубы размером $15 \times 15 \times 15$ см, уплотненные при вибрировании с пригрузом 25 и 50 Г/см², а также без пригруза.

Смесь изготавливали в бетономешалке принудительного действия в течение 5 мин и укладывали в формы на лабораторной стандартной виброплощадке (имеющей 3000 кол/мин и амплитуду колебаний без нагрузки 0,35 мм). Вибрация продолжалась в течение 2 мин. Твердение бетонов происходило в камере нормального хранения после пропаривания по режиму 3+8+естественный спуск. Образцы испытывали на прочность при сжатии в возрасте 28 суток.

Как показали результаты наших опытов, прочность легкого бетона при указанной жесткости растет пропорционально величине пригруза. При 25 и 50 Г/см² она увеличилась соответственно на 8 и 36% по сравнению с прочностью бетона, уплотненного без пригруза. В дальнейших опытах при вибрировании кубов мы использовали пригруз с удельным давлением 50 Г/см².

Существенные различия в свойствах легких бетонов обуславливаются режимами их тепловой обработки. В нашу задачу входило поэтому уточнение параметров пропаривания с целью нахождения оптимальной температуры и длительности изотермического прогрева для бетона рекомендуемого состава.

В опытах использовались образцы размером $10 \times 10 \times 10$ см, которые пропаривали в металлических формах при трех значениях температур и продолжительности изотермического прогрева. Температуры были приняты равными: 70—75, 80—85 и 90—95°C, а продолжительность изотермического прогрева — 6, 8 и 12 ч при каждой указанной температуре. Подъем и спуск температуры при всех режимах тепловой обработки осуществлялся со скоростью 20—30 град/ч.

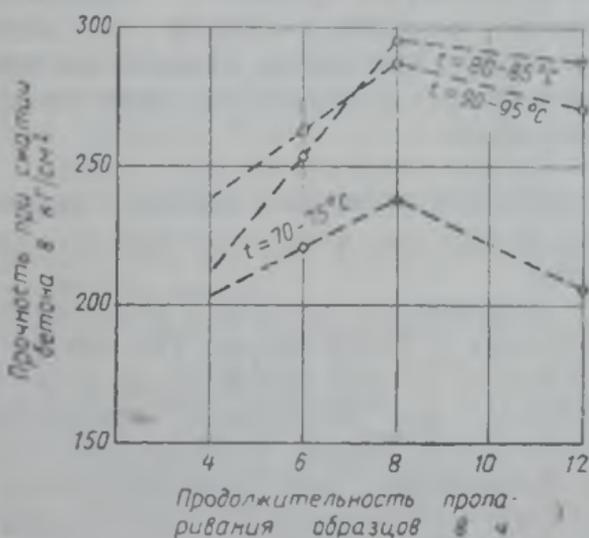
Бетонную смесь получали в бетономешалке принудительного действия, вибрировали образцы на лабораторной виброплощадке с пригрузом 50 Г/см² и через 4 ч выдержки начинали тепловую обработку в лабораторных пропарочных камерах,

Для проведения эксперимента было изготовлено 30 образцов, 27 из которых пропаривали в трех камерах по 9 шт. и три хранили в камере нормального твердения.

В каждой камере образцы выдерживали при одной температуре — t изотермического процесса и трех значениях его продолжительности. По истечении заданного времени изотермического прогревания из камеры вынимали по три куба, которые остывали при комнатной температуре, после чего их помещали в камеру нормального твердения. Пропаренные и непропаренные образцы испытывали на 28-е сутки.

Анализ этих данных (рис. 1) показывает, что конструктивный легкий бетон при различных режимах тепло-

Рис. 1. Влияние температуры и продолжительности изотермического процесса при пропаривании на величину прочности керамзитобетона марки 300 на известняковом песке в возрасте 28 суток (образцы нормального твердения имели прочность при сжатии 270 кг/см^2)



вой обработки имеет различную марку. При длительности изотермического процесса от 6 до 8 ч, в зависимости от его температуры, прочность легкого бетона при сжатии повышается, а при увеличении срока до 12 ч — уменьшается. Наибольшее значение прочности при оптимальной продолжительности изотермического процесса 8 ч было получено при температуре $80-85^\circ\text{C}$.

Прочность керамзитобетона в возрасте 28 суток при температуре $t=80 \div 85^\circ\text{C}$, пропаренного по режиму $3+8+3$ ч, увеличилась по сравнению с прочностью образцов нормального твердения на 12%, при $t=90 \div 95^\circ\text{C}$ почти не возросла, а при $t=70 \div 75^\circ\text{C}$ — была на 22% меньше.

Таким образом, для исследуемого керамзитобетона

на известняковом песке оптимальным оказался режим тепловой обработки $3+8+3$ ч, а температура изотермического прогрева $80-85^{\circ}\text{C}$.

Свойства легких бетонов в большой степени зависят от вида пористых заполнителей, а многие показатели их свойств нормируются поэтому по-разному. Так, например, для бетонов на естественных пористых заполнителях прочность бетонов на растяжение и модули упругости принимаются меньшими, чем для бетонов на искусственных пористых заполнителях.

С целью выявления свойств керамзитобетона марки 300 на известняковом песке исследовались его прочностные и деформативные свойства по методике НИИЖБ.

Кубиковую прочность определяли испытанием на сжатие образцов размером $15 \times 15 \times 15$ см; за величину кубиковой прочности принимали среднеарифметическое значение из результатов испытаний шести образцов-близнецов.

Призмennую прочность легкого бетона определяли, испытывая на осевое сжатие девять призм размером $15 \times 15 \times 60$ см, изготовленных из тех же замесов, что и кубы.

Деформации измеряли электротензодатчиками сопротивления с базой 50 мм. По центру каждой грани приклеивали по два вертикальных и два горизонтальных датчика для измерения продольных и поперечных деформаций. Перед нагружением призмы центрировали по физической оси при нагрузках, равных примерно 0,1—0,2 от ожидаемой разрушающей. Призму считали отцентрированной, если наибольшее из показаний по четырем граням отличалось от наименьшего не более чем на 10%.

После центрирования образцы нагружали ступенчато до разрушения со скоростью $2-3$ кг/см² в 1 сек на 50-тонном гидравлическом прессе типа «Амслер» и 2ПГ-500. На каждой ступени нагрузки, составляющей примерно 0,1 от ожидаемой разрушающей, делали выдержку по 5 мин для измерения мгновенных и полных деформаций.

На тех же прессах, на которых определяли $R_{пр}$, испытывали и кубы для определения $R_{куб}$. Поскольку для легких бетонов часто наблюдаются высокие значения $R_{пр}/R_{куб}$ (что некоторые исследователи склонны объяснять занижением величин $R_{куб}$ из-за неравномерности

обжатия кубов при испытании), $R_{\text{куб}}$ определялось нами при центрировании кубов по физической оси с помощью датчиков на базе 50 мм. Одновременно фиксировали объемный вес призм и кубов.

Разброс индивидуальных значений прочности при сжатии и объемного веса в каждой серии образцов был невелик: для призм соответственно ± 6 и $\pm 3\%$, а для кубов — $\pm 5\%$ по прочности и $\pm 2\%$ по объемному весу.

Значение относительной призмной прочности $K_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{пр}}}{R_{\text{куб}}}$ по девяти образцам призм и кубов равно 0,92, что значительно больше нормируемых значений этого коэффициента для аналогичных марок тяжелого бетона марки 300, равного 0,7.

Следует отметить, что СНиП нормирует величину $K_{\text{пр}} = 0,7$ и для легких бетонов марки 300. Однако эта величина значительно меньше значений, наблюдаемых фактически у легких бетонов. Таким образом, величину

$K_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{пр}}}{R_{\text{куб}}}$ для керамзитобетона на известняковом песке следует нормировать так же, как для керамзитобетона и легких бетонов других видов.

Предел прочности на осевое растяжение R_p определяли путем испытания в возрасте 28 суток на разрыв пропаренных образцов-призм размером $10 \times 10 \times 40$ см, снабженных по концам захватными приспособлениями для крепления в разрывной машине. В образцах по торцам были заделаны металлические пластинки (толщиной 10 мм) с отверстиями для болтов (диаметр 10—12 мм), которые служили для крепления захватных приспособлений и обеспечивали возможность центрирования образца. Передача усилий от захватов разрывной машины к призмам была осуществлена шарнирно, что уменьшало возможность эксцентричности растягивающего усилия. Для проверки равномерности передачи нагрузки на образец при растяжении и для определения продольных и поперечных деформаций на каждой грани были наклеены продольные и поперечные тензодатчики с базой 50 мм. После центрирования образца призму нагружали ступенчато (аналогично испытанию при сжатии призм) на 10-тонном прессе типа «Шоппер».

Анализируя результаты испытания образцов, следует отметить, что величина индивидуальных значений R_p

имеет несколько больший разброс в каждой серии, чем величина призмной прочности до $\pm 10\%$.

На рис. 2 приведены значения $\frac{R_p^H}{R_p}$ для керамзитобетона на кварцевом, керамзитовом и смешанном песках [1, 4]. Из графика видно, что относительная прочность

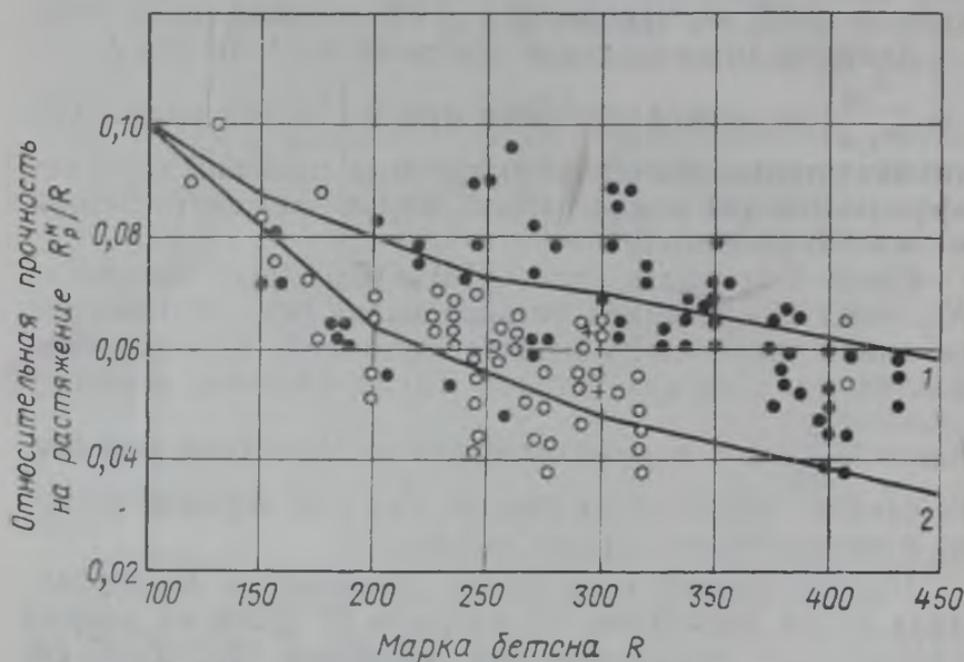


Рис. 2. Прочность бетонов на осевое растяжение

1 — нормативные сопротивления тяжелого и легкого бетона (кроме легких бетонов на естественных пористых заполнителях вулканического происхождения); 2 — то же, для легких бетонов на естественных пористых заполнителях вулканического происхождения

Экспериментальные данные НИИЖБ, ГПИ, МАДИ, Союздорнии и др.

● для образцов влажного хранения; ○ — для образцов сухого хранения;
+ для образцов из керамзитобетона на известняковом песке

на растяжение у образцов влажного хранения значительно выше, чем у образцов сухого хранения и часто несколько превышает значения, соответствующие нормативным сопротивлениям на растяжение тяжелых и легких бетонов на искусственных пористых заполнителях.

Значения R_p для керамзитобетона на известняковом песке несколько ниже аналогичных величин для керамзитобетона на кварцевом, керамзитовом и смешанном песках при аналогичных условиях хранения и несколько выше нормируемых значений $\frac{R_p}{R_{куб}}$ для легких бетонов

на естественных пористых заполнителях вулканического происхождения.

Прочность легких бетонов на растяжение при изгибе определяли на шести неармированных балках размером $15 \times 15 \times 60$ см. Испытывали балки в соответствии с требованиями ГОСТ 10180—67 при пролете 45 см.

На балки были приклеены тензодатчики с базой 50 мм по боковым граням вверху и внизу для того, чтобы иметь возможность контролировать равномерность передачи нагрузки. Нагрузка на образец передавалась непрерывно и равномерно до момента разрушения балки. Предел прочности на растяжение при изгибе вычисляли с точностью до 1 кг/см^2 как среднее арифметическое предела прочности образцов в серии.

Разброс значений R_p^* был значительно меньше, чем R_p , и находился в пределах $\pm 8\%$. Аналогичные результаты были получены и другими исследователями, что позволяет рекомендовать определять R_p по изгибу балок. В наших опытах величина переходного коэффициента от значений R_p^* к значениям R_p для бетонов марки 300 оказалась равной 1,7.

Прочность при срезе определяли путем испытания специальных бетонных образцов, предложенных проф. А. А. Гвоздевым. В настоящее время значения $R_{ср}$ не нормируются, однако в соответствии с ранее проводимыми исследованиями по легким и тяжелым бетонам величина $R_{ср}$ примерно в два раза превышала значения R_p . В наших исследованиях для керамзитобетона на известняковом песке $R_{ср}$ было в 2,5 раза больше R_p .

Основной характеристикой упруго-пластических свойств бетона является модуль продольных деформаций, который называется обычно модулем упругости E_6 . Модуль упругости керамзитобетона при сжатии и растяжении определяли одновременно с испытанием призм на прочность. Деформации измерялись на каждой ступени сразу после приложения нагрузки (мгновенные, или упругие) и после выдержки в течение 5—6 мин (полные). Упругую деформацию каждой призмы ϵ_y определяли как среднее арифметическое значение относительных деформаций по четырем боковым граням. Разброс индивидуальных значений E_6 для образцов-близнецов каждой серии оказался в пределах $\pm 2\%$. Среднее значение E_6 при сжатии для серии образцов керамзитобе-

тона на известняковом песке марки 300 составляет 158 000 и при растяжении $148\,000 \text{ кг/см}^2$, т. е. значения модулей упругости при растяжении и сжатии весьма близки и могут приниматься одинаковыми. Экспериментальные значения E_6 для керамзитобетона на известняковом песке оказались на 15% больше, чем для керамзитобетона на керамзитовом песке, что вполне логично, поскольку объемный вес известнякового песка больше, чем керамзитового. В связи с этим для исследуемого нами вида бетона можно рекомендовать повышенные на 15% значения E_6 по сравнению с нормируемыми для керамзитобетона на керамзитовом песке.

Керамзитобетон на известняковом песке обладает повышенной предельной сжимаемостью по сравнению с другими видами легких бетонов на пористых заполнителях и большей предельной растяжимостью при работе на отрыв в растянутых образцах. Предельная сжимаемость и растяжимость для исследуемого легкого бетона составила соответственно $\varepsilon_{сж} = 1,77$ и $\varepsilon_p = 0,3 \text{ мм/м}$.

Величина коэффициента Пуассона при $\sigma = 0,2 R_{пр}$ для исследуемого керамзитобетона колеблется в пределах от 0,20 до 0,21.

Новый вид легкого бетона марки 300 был применен нами на экспериментальном заводе железобетонных изделий в г. Баку при изготовлении предварительно напряженных плит перекрытий длиной 586 см с круглыми пустотами. Результаты исследования показали достаточную прочность и жесткость плит при сопоставлении с расчетными показателями.

Приведенные затраты, учитывающие себестоимость изготовления и транспортные расходы по доставке изготовленных многопустотных плит от завода ЖБИ до стройплощадки, составляют: для плит из тяжелого бетона $35,15 \text{ руб/м}^3$, а для плит из керамзитобетона на известняковом песке — $33,60 \text{ руб/м}^3$.

Выводы

1. Проведенные исследования показали, что на бакинском керамзитовом гравии и известняковом песке может быть получен легкий бетон марки 300 с объемным весом в сухом состоянии 1650 кг/м^3 .

2. Прочностные и деформативные свойства нового вида бетона марки 300 близки к соответствующим харак-

геристикам других видов легких бетонов на пористых заполнителях. Поэтому при относительно небольшом объеме весе исследуемый бетон может быть использован для изготовления предварительно напряженных плит перекрытий и других конструкций в промышленном и гражданском строительстве.

3. Применение керамзитобетона на известняковых песках вместо обычного тяжелого бетона позволяет снизить вес конструкций до 25% и уменьшить себестоимость плит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бужевич Г. А., Корнев Н. А. «Керамзитожелезобетон». Стройиздат, 1963.

2. Еременок П. Л., Измаилов Ю. В., Ящук В. Е. «Известняковые бетоны и бетониты». Бюро технической информации НИИСК АС и АУССР, Киев, 1958.

3. Инструкция по изготовлению изделий из новых видов легких бетонов. Стройиздат, 1966.

4. Корнев Н. А., Кудрявцев А. А. «Испытание предварительно напряженных панелей перекрытий из легких бетонов». «Бетон и железобетон», 1963, № 5.

5. Маилян Р. Л. Бетон на карбонатных заполнителях, Ростов, 1967.

6. Ольховой Л. Г. «Разработка технологии изготовления изделий для ирригации из местного минерального сырья Крыма». Автореферат кандидатской диссертации, Харьков, 1967.

7. Якубович М. А. Бетон и железобетон на ракушечниках и известняках Украины. Госстройиздат УССР, Киев, 1958.

Инженеры Ю. М. РОМАНОВ и Р. А. ЦВЕТАЕВА

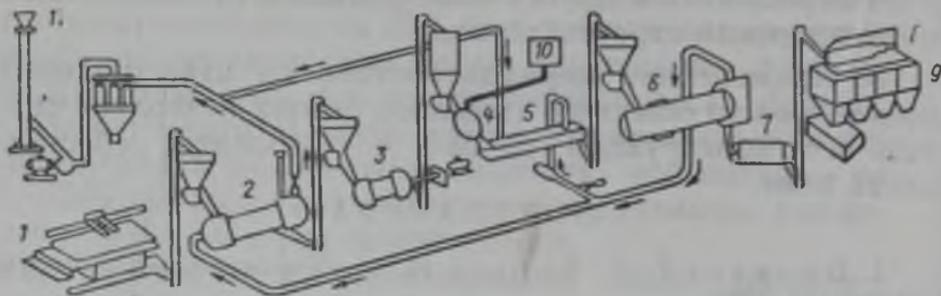
ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ НА ЗОЛЬНОМ ГРАВИИ

В Советском Союзе стеновые конструкции и детали изготавливают в основном из легких бетонов на базе керамзита, шлаковой пемзы, аглопорита, перлита и других пористых заполнителей. Вместе с тем известно, что в ряде районов нет качественного сырья для изготовления пористых заполнителей, поэтому большое значение имеет использование местного сырья.

Интересен опыт Каширского завода ЖБИ № 3, на котором в качестве заполнителя для бетона используют зольный гравий (см. рис.). Гравий этот получают по технологии, разработанной ВНИИПИТеплопроектом. Исходным сырьем служит зола-унос ТЭЦ.

ТЭЦ построены во всех районах нашей страны, так что зола-унос практически имеется всюду.

Зольный гравий представляет собой искусственный пористый материал с зернами шаровидной формы, получаемый путем гранулирования золы-уноса ТЭЦ в тарельчатом грануляторе с последующим обжигом и вспу-



Технологическая схема производства зольного гравия

1 — ящичный подаватель; 2 — контактно-сушильный барабан; 3 — шаровая мельница; 4 — тарельчатый гранулятор; 5 — конвейерное сушило; 6 — печь спекания; 7 — холодильник; 8 — классификатор; 9 — бункера готовой продукции; 10 — узел приготовления сульфитно-спиртовой барды; 11 — дымосос — отходящие дымовые газы, используемые для сушки гранул в конвейерном сушиле и золы в контактно-сушильном барабане

чиванием гранул во вращающейся печи прямооточного действия. Теплопроект провел испытания зол многих ТЭЦ, работающих на различных видах твердого топлива. Основные показатели зольного гравия приведены в табл. 1.

Таблица 1
Свойства зольного гравия на различных золах

ТЭЦ	Температура спекания гранул в °С	Характеристика зольного гравия		
		насыпной объемный вес в кг/м ³	прочность при сжатии в кг/см ²	водопоглощение ве-совое в %
Каширская	1200—1250	320—500	12—73	12
Завод ЗИЛ	1200—1240	380—450	37—114	17
Тамбовская	1140—1220	350—500	10—150	17
Омская	1150—1200	320—450	12—56	10
Ангарская	1270—1280	430	30	18
Архангельская	1260	450	33	17

Мы видим, что по таким показателям, как насыпной объемный вес, прочность при сжатии и водопоглощение, этот наполнитель не уступает керамзитовому гравью. Промышленный выпуск зольного гравия освоен сейчас в

Кашире, где он выпускается примерно в количестве 20 000 м³ ежегодно.

Работы по легким бетонам на зольном гравии были начаты в 1966 г., когда Каширский завод приступил к промышленному производству зольного гравия [1, 4].

За это время были разработаны составы бетонов, изучены свойства зольного гравия и особенно физико-механические показатели легких бетонов марок 50, 100 и 300 на зольном гравии. Исследования продолжаются и в настоящее время; изучаются ползучесть, усадка бетона, проверяется коррозия арматуры в бетоне и т. п.

Основное достоинство зольного гравия состоит в том, что на его основе можно изготавливать бетоны различного назначения, в том числе конструктивный марок 200 и 300, который можно использовать для выпуска изгибаемых конструкций.

Данные о свойствах легких бетонов на зольном гравии приведены в табл. 2 [2].

Результаты исследований показывают, что бетоны на зольном гравии не уступают другим легким бетонам. Это видно из сравнения физико-механических свойств легких бетонов марок 100, изготовленных на различных пористых заполнителях (табл. 3).

Полученные данные позволили рекомендовать Каширскому заводу ЖБИ № 3 для изготовления стеновых панелей промышленных зданий применять плотный бетон на зольном гравии.

Конструкция опытных стеновых панелей была принята по типовому альбому СТ-02-31. Конструкция опытных панелей из бетона на зольном гравии принята по аналогии с конструкцией панелей из керамзитобетона 1000 кг/м³ марки 50 с объемным весом в сухом состоянии.

Для исследования работы конструкции были изготовлены опытные панели-перемычки, которые рассчитаны на воздействие вертикальной и горизонтальной нагрузок при эксплуатации и монтаже зданий.

Стеновые панели длиной 6 м испытывались в НИИЖБ.

Нагрузку на панели прикладывали одновременно в горизонтальном и вертикальном направлениях. Вертикальная нагрузка из расчета 400 кг/пог. м прикладывалась ступенчато в пять этапов и сохранялась до конца испытаний. Горизонтальная нагрузка на каждой ступе-

Свойства легких бетонов на Каширском зольном гравии

Марка бетона	Объемный вес в сухом состоянии в кг/м ³	Расход материалов на 1 м ³ бетона						Призменная прочность в кг/см ²	Прочность при осевом растяжении в кг/см ²	Модуль упругости			Коэффициент морозостойкости после 35 циклов замораживания и оттаивания
		вода в л	зольный гравий в л	зольный песок в л	зола ТЭЦ в кг	песок речной в кг	цемент М400 в кг			при сжатии в кг/см ²	при растяжении в кг/см ²	коэффициент теплопроводности в ккал/м·ч·град.	
50	850	170	950	100	350	—	140	44	5,2	57700	44500	0,22	1
100	950	180	900	140	400	—	200	85	7,3	89000	87000	0,28	1
300	1550	170	850	—	—	600	400	257	20,0	188000	18400	0,40	1

Таблица 3

Физико-механические свойства различных легких бетонов марки 100

Показатели легких бетонов марки 100	Опытные данные				По СНиП 11-В. 1-62 и СН 386-68
	бетон на зольном гравии, $\gamma_3=400$ кг/м ³	керамзитобетон $\gamma_3=400$ кг/м ³	бетон на шлаковой пемзе $\gamma_3=600$ кг/м ³	перлитобетон $\gamma_3=400$ кг/м ³	
Объемный вес в кг/м ³	900—1000	1100	1650	1150	900—1000
Расход цемента (М 400) в кг/м ³	200	245	315	380	
Прочность бетона при осевом растяжении в кг/см ²	7,3	11,8	14,4	4,5	10—12,5
Начальный модуль упругости при сжатии в кг/см ²	89 000	76 000	158 000	62 500	80 000
Коэффициент Пуассона	0,20	0,18	0,22	0,22	0,18
Усадка за 180 суток в мм/м	0,15	0,12	0,23	0,37	—
Ползучесть за 180 суток при $\sigma=0,3 R_{пр}$ в мм/м	0,30	0,15	0,10	—	—
Прочность сцепления арматуры $\varnothing 12$ мм периодического профиля с бетоном в кг/см ²	35—41	36	—	50	—

ни нагружения составляла $1/10$ теоретической разрушающей.

Одновременное приложение нагрузок в двух направлениях соответствует работе панели в эксплуатационных условиях (горизонтальная нагрузка — давление ветра; вертикальная — собственный вес панели и нагрузка от остекления). Как показали испытания, панели имели достаточную прочность и жесткость при одновременном действии вертикальных и горизонтальных нагрузок.

Фактические изгибающие моменты в горизонтальном направлении несколько повышают теоретические разрушающие моменты или

$$\frac{M_{\text{факт}}^{\text{разр}}}{M_{\text{теор}}^{\text{разр}}} = 1,02 \div 1,10.$$

Отношение предельного фактического изгибающего момента в горизонтальной плоскости к нормативному равно 2,4—3,04. Прогнбы панелей невелики и составляют $\frac{1}{1000} - \frac{1}{2400}$.

На каждом этапе нагружения панелей велось наблюдение за появлением и раскрытием трещин. Первые видимые трещины у панелей появлялись при $M_{\text{гориз}} = 780 \text{ кгм}$, что составляет 55% от $M_{\text{теор}}^{\text{разр}}$.

При нормативной нагрузке ширина раскрытия трещин у этих панелей равнялась 0,04—0,08 мм, что значительно меньше допустимой величины.

Проверка несущей способности опорных частей панелей на смятие, а также надежности анкеровки закладных деталей и монтажных петель в бетоне дала хорошие результаты.

Полученные данные позволили приступить к серийному изготовлению панелей стен длиной 6 м на заводе в Кашире.

На приготовление 1 м³ бетона марки 50 на зольном гравии расходуется:

зольного гравия фракций 5—30 мм	900 л
зольного песка фракций 0—5 мм (получаемого по- путно при обжиге)	140 л
зола ГРЭС отвальной	400 л
цемента М 400	200 кг
воды	190 л

Золу вводят в состав бетона как мелкий заполнитель для получения плотной структуры.

Бетон готовят в бетономешалке принудительного действия С-356 емкостью 1000 л и укладывают в формы самоходным бетонораздатчиком марки 6991/ЗСД, имеющим вибропригруз и затирающую рейку. Уплотняют бетон на вибростоле грузоподъемностью 10 т.

Отформованные панели подвергаются тепловой обработке в пропарочных камерах ямного типа по режиму: выдержка перед пропариванием—3 ч, подъем температуры 3 ч, выдержка при температуре 90—95°С — 7 ч и спуск температуры — 3 ч. Влажность бетона после пропаривания составляет 10—12% по весу.

В настоящее время Каширский завод ЖБИ освоил массовый выпуск стеновых панелей из легкого бетона на зольном гравии. Стеновые панели выпускаются с различными фасадными фактурами из песчано-цементного раствора, из мелкозернистой стеклянной плитки, из керамической плитки и из тяжелого бетона со вскрытием крупного заполнителя перед тепловой обработкой.

Из этих панелей смонтированы стены главного цеха завода ЖБИ в г. Кашире и ряд объектов в Москве, Ленинграде и Воронеже.

В 1966 г. Каширским заводом ЖБИ отправлено стройкам 2800 м² стеновых панелей, в 1967 г. — более 60 000 м², а в 1968 г. — 79 000 м².

Использование зольного гравия позволило Каширскому заводу ЖБИ № 3 отказаться от традиционного керамзитобетона и получить значительный годовой экономический эффект.

В табл. 4 приведено сравнение себестоимости 1 м³ керамзитобетона и бетона на зольном гравии, полученное на основании фактических данных Каширского завода ЖБИ № 3 о стоимости и расходах материалов на 1 м³ бетонов.

Объем внедрения в 1968 г. бетонов на зольном гравии составлял 20 160 м³ и годовой экономический эффект достиг 92,3 тыс. руб.

В 1968 г. конструкции стеновых панелей из бетона с заполнителем зольным гравием экспонировались на ВДНХ СССР. Работа была отмечена бронзовыми медалями ВДНХ.

В настоящее время в стране строятся заводы зольного гравия в гг. Николаеве, Калининe, Бокситогорске и Игумново (Горьковская обл.). Одновременно проектируется еще ряд заводов. Развитие производства зольного

Сравнительная калькуляция себестоимости 1 м³ бетона марки 50
с объемным весом 900 кг/м³ на различных заполнителях

Статьи затрат	Цена в руб.— коп.	Керамзитобетон		Бетон на зольном гравии	
		количест- во	цена	количест- во	цена
Цемент М 400 в т	18—70	0,220	4—11	0,200	3—74
Керамзит в м ³	15—90	0,800	12—72	—	—
Керамзитовый песок в м ³	16—78	0,650	10—91	—	—
Зола ТЭЦ рядовая в м ³ .	0—30	—	—	0,400	0—32
Зольный гравий в м ³ . .	17—88	—	—	0,900	16—09
Зольный песок в м ³ . . .	17—88	—	—	0,140	2—50
Итого			27—74		22—65

гравия позволит резко увеличить выпуск в стране легких заполнителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хотенцев Г. И., Романов Ю. М., Цветаева Р. А. «Легкий бетон на зольном гравии и конструкции из него». «Бетон и железобетон», 1967, № 3.
2. Панин А. С., Баранов А. Н., Гридунов А. С., Хотенцев Г. И., Коновалова З. К., Романов Ю. М., Цветаева Р. А. «Легкие бетоны на зольном гравии». «Строительные материалы», 1968, № 6.
3. «Новые виды легких бетонов». «Строительная газета» № 14 от 31 января 1968 г.
4. «Кашира—Англия—Кашира». «Строительная газета» № 127 от 27 февраля 1967 г.

ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ НА ПОРИСТОМ ЩЕБНЕ

Канд. техн. наук А. А. ЕВДОКИМОВ,
инж. Л. А. МАКЕЕВА

**ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ
НА ВСПУЧЕННЫХ ПЕРЛИТОВЫХ ПЕСКАХ**

В районах, где имеется сырье для получения вспученного перлитового песка, он с успехом применяется в сочетании с другими крупными пористыми заполнителями в легких бетонах (например, со вспученным перлитовым щебнем, керамзитовым гравием, шлаковой пемзой, аглопоритом и т. д.) [2, 5].

В НИИЖБ в течение нескольких лет проводился комплекс исследований по легким бетонам на вспученных перлитовых песках. Аналогичные опыты проводились и другими исследователями [3, 4, 6]. Нами изучались основные свойства перлитов, вспученных из сырья Мухор-Талинского и Закарпатского месторождения, и бетонов с применением этих заполнителей. Химический состав большинства вспученных перлитов был постоянным, в них содержалось SiO_2 74—78% и 1—7% щелочей. Химический состав вспученных перлитов различных месторождений приведен в табл. 1.

Насыпные объемные веса применявшихся в наших исследованиях различных пористых заполнителей для приготовления бетонов и результаты исследования их свойств приведены на рис. 1. В отличие от других легких заполнителей мелкие фракции перлита Закарпатского месторождения, вспученные в Киевском НИИСМИ, имеют объемный вес, меньший, чем крупные фракции перлита, керамзита и шлаковой пемзы, что делает его особенно ценным при изготовлении конструктивно-теплоизоляционных перлитобетонов, керамзито- и шлакопемзоперлитобетонов.

Прочность при сжатии вспученных перлитов фракции 10—20 мм различных месторождений определяли по ГОСТ 9758—61. Результаты испытаний приведены на

Химический состав вспученных перлитов различных месторождений и керамзита
Лианозовского месторождения

Материалы	Размер фракции в мм	Насыпной объемный вес в кг/м ³	Химический состав в %								
			п. п. п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Перлит Армянского месторождения, вспученный в Теплопроекте ¹	10—20	440	0,46	76,37	13,6	0,89	0,85	0,21	0,21	7	—
Перлит Закарпатского месторождения, вспученный в Теплопроекте	10—20	580	0,52	76,9	10,84	4,28	1,48	0,27	0,38	5	—
То же, вспученный в Киевском НИИСМИ	10—2,5	360	1,09	78,58	14,5	1,95	2,37	1,08	—	0,18	0,8
	10—5	400	0,71	77	14,44	1,43	1,76	1,17	0,53	2,78	0,22
Перлит Мухор-Талинского месторождения, вспученный на Шелеховском заводе	10—20	370	0,86	77,68	15,07	1,71	1,89	1,81	0,06	0,72	0,56
	10—20	580	1,98	74,07	14,7	2,8	2,19	1,64	—	2,09	0,38
То же, вспученный во ВНИИ-Строме	10—20	580	0,32	74,29	15,06	1,1	1	0,22	0,18	7,5	—
Керамзит Лианозовского завода	10—20	500	0,1	57,62	23,75	8,75	5,55	2,38	0,56	0,83	0,03

¹ Мы приводим название организаций, где осуществлялось вспучивание перлита, потому что там применялись различные установки и режимы для вспучивания.

рис. 2. Из приведенных данных видно, что прочность при сжатии в цилиндре у большинства вспученных перлитов возрастает пропорционально увеличению их насыпного объемного веса.

Исключение составляет перлит Мухор-Талинского месторождения, вспученный во ВНИИСтроме, у которого прочность значительно выше, чем у других перлитов такого же объемного веса.

Динамика водопоглощения вспученных перлитов фракций 10—20 мм показана на рис. 3. Водопоглощение определяли через 30 мин, 1, 2, 48, 72 и 144 ч. Наиболее интенсивно водопоглощение в течение первого часа, оно составляет 60—75% по объему от количества воды, поглощенной через 144 ч. Водопоглощение вспученных перлитов меняется с изменением объемного веса; с увеличением данного показателя водопоглощение заполнителей уменьшается.

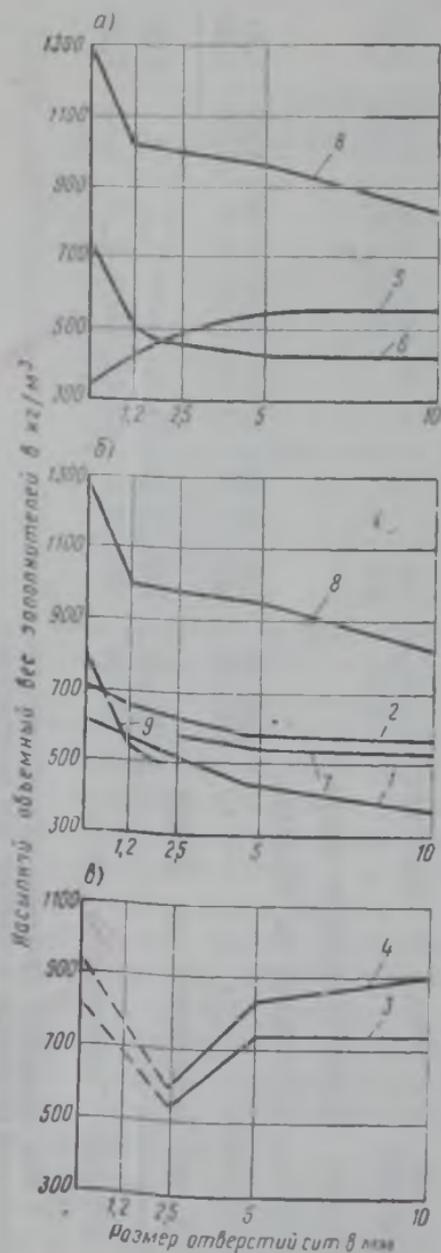


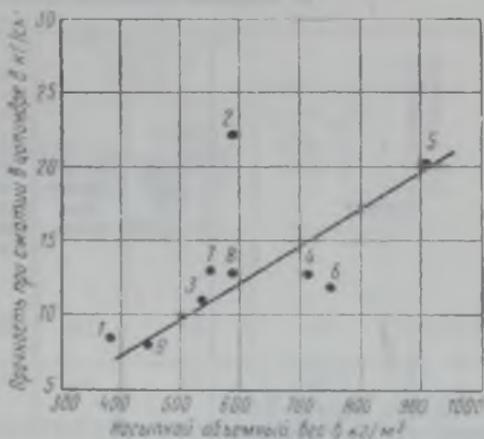
Рис. 1. Зависимость насыпного объемного веса пористых заполнителей от размера их фракций

а — бетон марки 50; б — бетон марки 100—200; в — бетон марки 250—350; 1 — перлит Мухор-Талинского месторождения, вспученный на Шелеховском заводе; 2 — то же, вспученный во ВНИИСтроме; 3 — то же, вспученный на Улан-Удинском заводе ЖБИ; 4 — то же, вспученный в Улан-Удэ; 5 — перлит Закарпатского месторождения, вспученный в Киевском НИИСМИ; 6, 7 — керамзит Лянозовского завода; 8 — шлаковая пемза Ждановского завода; 9 — перлитовый песок, дробленый из вспученного щебня Закарпатского месторождения

Вспученный перлитовый щебень фракций 5—10 и 10—20 мм Мухор-Талинского и Закарпатского месторож-

Рис. 2. Зависимость насыпного объемного веса вспученного перлита фракции 10—20 мм от его прочности в цилиндре

1 — перлит Мухор-Талинского месторождения, вспученный на Шелеховском заводе; 2 — то же, вспученный во ВНИИСтроме; 3, 4 — то же, вспученный на Улан-Удинском заводе ЖБИ (брекчиева лава); 5, 6 — то же (недовспученный); 7 — перлит Закарпатского месторождения, вспученный в Киевском НИИСМИ; 8 — то же, вспученный в Теплопроекте; 9 — перлит армянский, вспученный в Теплопроекте



дения испытывался на морозостойкость. Результаты определения межзерновой пустотности, пористости, удельного веса и морозостойкости вспученных перлитов приведены в табл. 2. Перлит Мухор-Талинского месторождения после 72 циклов замораживания и оттаивания потерял в весе 7—8%, а потери в весе перлита Закарпат-

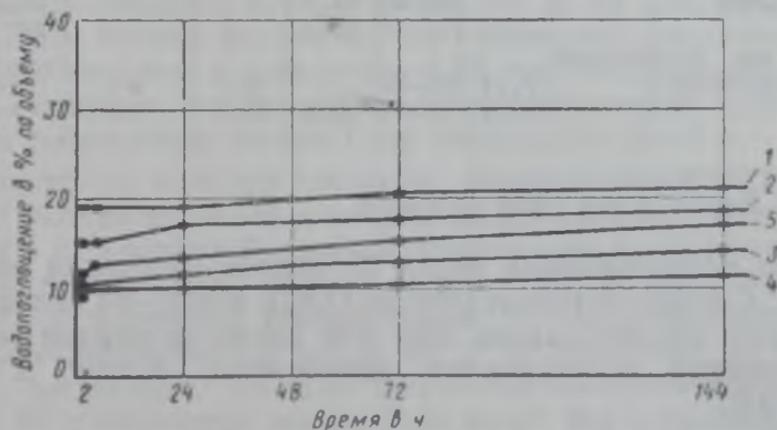


Рис. 3. Водопоглощение вспученных перлитов фракций 10—20 мм различных месторождений

1 — перлит Мухор-Талинского месторождения, вспученный на Шелеховском заводе ($\gamma_{нас} = 370 \text{ кг/м}^3$); 2 — то же, вспученный во ВНИИСтроме ($\gamma_{нас} = 580 \text{ кг/м}^3$); 3 — то же, вспученный на Улан-Удинском заводе ЖБИ ($\gamma_{нас} = 745 \text{ кг/м}^3$); 4 — то же ($\gamma_{нас} = 910 \text{ кг/м}^3$); 5 — перлит Закарпатского месторождения, вспученный в Киевском НИИСМИ ($\gamma_{нас} = 550 \text{ кг/м}^3$)

Межзерновая пустотность, пористость, удельный вес и морозостойкость вспученных перлитов

Перлит	Удельный вес в г/см ³	Размер фракции в мм	Межзерновая пустотность в %	Полная пористость в %	Результаты испытаний зерен на морозостойкость	
					количество циклов замораживания и оттаивания, после которых обнаружены признаки разрушения	потеря в весе после 72 циклов замораживания и оттаивания в %
Перлит Мухор-Талинского месторождения, вспученный на Шелеховском заводе	2,32	10—20	47,6	69,8	23	6
	2,32	5—10	43,6	62,5	23	8,3
	2,33	10—20	49	71,5	23	7,7
То же, вспученный во ВНИИСтроме . . .	2,33	5—10	54	58,5	23	7,1
Перлит Закарпатского месторождения, вспученный в Киевском НИИСМИ	—	10—20	48,5	—	—	22,2*
	—	5—10	49,5	—	—	28*
То же, вспученный в Теплопроекте . . .	2,14	10—20	—	59,7	—	—
	2,14	5—10	46,3	64,1	—	—

* Потеря в весе после 25 циклов.

ского месторождения после 25 циклов составили около 30%. Следует отметить, что по ГОСТ 10832—64 для вспученного перлита марок 300—500 после 15 циклов замораживания и оттаивания допускается потеря в весе до 10%.

Кроме вспученных перлитов в данной работе применялись в качестве крупного заполнителя керамзит Лианозовского завода и шлаковая пемза Ждановского завода, характеристики которых приведены в табл. 3.

На исследуемых заполнителях путем изготовления пробных замесов были подобраны составы легких бетонов марок 50—350 по прочности при сжатии.

Для подбора состава конструктивно-теплоизоляцион-

Прочность при сжатии, водопоглощение и межзерновая пустотность керамзита и шлаковой пемзы

Вид заполнителя	Размер фракции в мм	Объемный вес в куске в кг/м ³	Прочность при сжатии в кг/см ²		Водопоглощение через 144 ч в % по объему	Межзерновая пустотность в %
			отдельных зерен	отдельных фракций в цилиндре		
Керамзитовый гравий Лианозовского завода	10—20	700	85	14	14	43,5
Шлаковая пемза Ждановского завода .	10—20	1270	140	14	20	57

ного бетона марки 50 применялись вспученный перлит, керамзит и шлаковая пемза, насыпной объемный вес которых указан на рис. 1, а.

Для подбора составов бетона применяли портландцементы Брянского и Белгородского заводов. Жесткость бетонной смеси составляла 25—35 сек. Бетонную смесь перемешивали в растворомешалке в течение 4—5 мин. Образцы размером 15×15×15 см для конструктивно-теплоизоляционного бетона и 10×10×10 см для конструктивного бетона формовали на виброплощадке, имеющей 3000 кол/мин и амплитуду 0,35 мм. Тепловая обработка образцов осуществлялась в пропарочной камере при температуре 90—95°C по режиму 3+12+3 ч.

В процессе подбора составов бетонов марки 50 тяжелые мелкие фракции размером до 2,5 мм в керамзитобетоне и шлакопемзобетоне были заменены легким вспученным перлитовым песком (рис. 1, 5). В результате этого были получены: конструктивно-теплоизоляционный керамзитоперлитобетон марки 50 с объемным весом в сухом состоянии 750 кг/м³ и шлакопемзоперлитобетон марки 50 с объемным весом 1150 кг/м³. На вспученном перлите Закарпатского месторождения (рис. 1, 5) можно получить перлитобетон марки 50 с объемным весом 850 кг/м³.

Для подбора состава бетона марок 100—200 были использованы заполнители, насыпной объемный вес которых приведен на рис. 1, б. В данном случае в качестве мелкого заполнителя использовали перлитовый песок (см. рис. 1, б, 9), полученный дроблением вспученного

перлитового щебня Закарпатского месторождения с объемным насыпным весом 500 кг/м^3 .

Использование приведенных выше заполнителей позволяет получить перлитобетон марок 100 и 150 с объемным весом соответственно 1050 и 1500 кг/м^3 , керамзитоперлитобетон марок 150 и 200 с объемным весом 1050 и 1300 кг/м^3 и шлакопемзоперлитобетон марки 200 с объемным весом 1550 кг/м^3 .

На вспученном перлитовом щебне Закарпатского месторождения с применением кварцевого песка удалось получить конструктивный бетон марки 200 лишь при очень больших расходах цемента, что не может быть рекомендовано.

Применение более тяжелого перлита Мухор-Галинского месторождения (см. рис. 1, в) и кварцевого песка позволило получить конструктивный перлитобетон марок 250—350 с объемным весом 1725 — 1925 кг/м^3 . Оптимальные составы бетона, их вес и прочность приведены в табл. 4.

Результаты подбора состава бетона показали, что бетон со вспученным перлитовым щебнем с объемным весом менее 600 кг/м^3 и размером зерен до 10 и 20 мм имеет примерно одинаковую прочность при сжатии и поэтому перлит с размером зерен до 10 мм можно применять в бетоне наряду с перлитом размером до 20 мм .

Для изучения роста прочности бетонов были изготовлены образцы из перлитобетона на кварцевом песке и из керамзито- и шлакопемзоперлитобетона на вспученном перлитовом песке. У пропаренного перлитобетона к 28 суткам при хранении в нормальных условиях не наблюдалось прироста прочности, а у керамзито- и шлакопемзоперлитобетона к 28 суткам прочность увеличивалась не более чем на 20% , а в отдельных случаях и меньше. В то же время непропаренные образцы при хранении в камере с нормальными условиями на 21-е сутки, а отдельные образцы даже на 14-е сутки достигали 28-суточной прочности пропаренных образцов.

Увеличение продолжительности изотермического прогрева с 4 до 12 ч не способствовало увеличению прочности при сжатии после пропаривания.

Бетоны подобранных составов были использованы для изготовления образцов, предназначенных для изучения свойств легких бетонов на вспученных перлитовых песках.

Составы, вес и прочность перлитобетонов, керамзитоперлитобетонов и шлакопемзоперлитобетонов различных марок

Бетон	Примененные заполнители (номера кривых на рис. 1)	Объемный вес бетона в сухом состоянии в кг/м ³	Портланд-цемент марки 600 по ГОСТ 310—41 в кг	Фактический расход материалов на 1 м ³ бетона в м ³							Прочность при сжатии после пропаривания в кг/см ²
				перлитовый щебень	керамзитовый гравий	шлакопемзопесчаный щебень	вспученный перлитовый песок	дробленый перлитовый песок	кварцевый песок	вода в л	
Перлитобетон	5	850	250	0,92	—	—	0,62	—	—	300	50
	1	1050	300	0,86	—	—	0,57	—	—	280	100
	2	1500	450**)	0,95	—	—	—	—	0,37	180	150
	3	1725	450**)	0,65	—	—	—	—	0,64	205	250*)
	3	1775	560**)	0,62	—	—	—	—	0,62	225	300**)
	4	1900	300**)	0,8	—	—	—	—	0,54	120	300**)
	4	1925	460**)	0,765	—	—	—	—	0,51	180	350*)
Керамзитоперлитобетон	6	750	230	—	0,925	—	0,63	—	—	190	50
	7	1050	430	—	0,95	—	—	0,38	—	310	150
	7	1300	480	—	1	—	—	0,40	—	280	200
Шлакопемзоперлитобетон	8	1150	315	—	—	0,98	0,67	—	—	260	50
	8	1550	415	—	—	0,8	—	0,55	—	205	200

* Прочность бетона, полученная на 28-е сутки после изготовления.

** Расход цемента марки 500 (по ГОСТ 310—41).

Результаты исследований показали, что оптимальная продолжительность перемешивания легкобетонных смесей на вспученных перлитовых песках составляет примерно 4 мин, а длительность вибрации — 1 мин при формировании конструктивно-теплоизоляционных бетонов и 2 мин при формировании конструктивных бетонов.

Полученные данные свидетельствуют о том, что технология приготовления легких бетонов на вспученных перлитовых песках принципиально не отличается от технологии приготовления других видов легких бетонов.

Свойства легких бетонов на вспученных перлитовых песках при кратковременной и длительной нагрузках определялись по методике, изложенной в работе [1].

Призменную прочность и модуль упругости бетона при сжатии определяли на призмах размером $20 \times 20 \times 80$ см для конструктивно-теплоизоляционного бетона и $15 \times 15 \times 60$ см для конструктивного бетона, а прочность при растяжении — на призмах размером $10 \times 10 \times 40$ см. Кубиковую прочность определяли соответственно на кубах размером $20 \times 20 \times 20$ см или $15 \times 15 \times 15$ см при испытании на сжатие и на кубах размером $10 \times 10 \times 10$ см при испытании на растяжение. Модуль упругости при сжатии определяли при нагрузке, равной 0,2 разрушающей. Отношение призменной прочности при сжатии к кубиковой в наших опытах оказалось более 0,7 (рис. 4).

Значения прочности при растяжении перлитобетона на кварцевом песке марок 200, 250 и 300 совпадают с данными, приведенными в СНиП II-A.10-62.

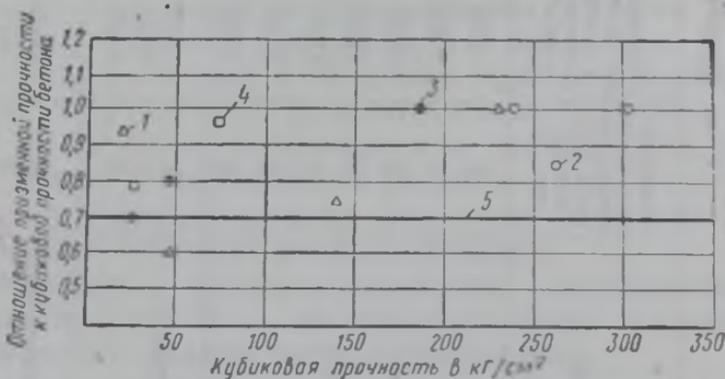


Рис. 4. Отношение призменной прочности к кубиковой прочности при сжатии

1 — перлитобетон; 2 — перлитобетон с добавкой кварцевого песка; 3 — керамзитоперлитобетон; 4 — шлакопемзоперлитобетон; 5 — данные по СНиП

Начальный модуль упругости легких бетонов на вспученных перлитовых песках в отдельных случаях получился немного меньше значений, приведенных в СНиП (рис. 5).

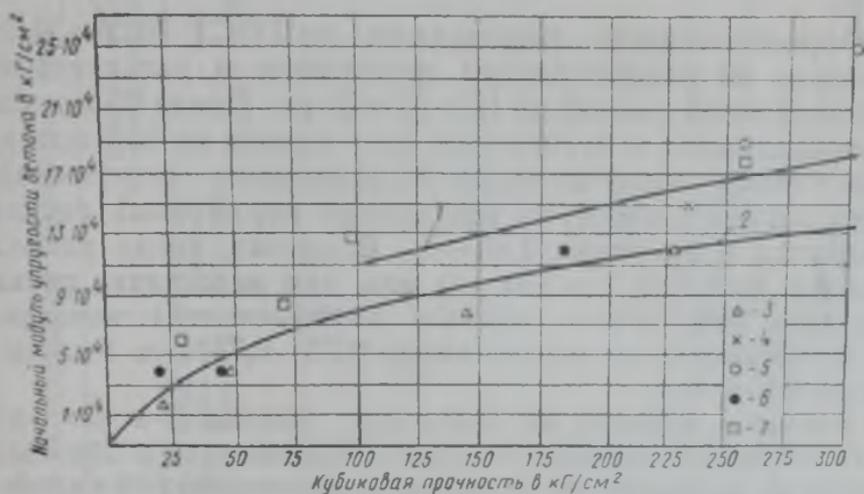


Рис. 5. Зависимость начального модуля упругости бетона от кубиковой прочности бетона при сжатии

данные по СНиП: 1 — $\gamma_s > 700 \text{ кг/м}^3$; 2 — $\gamma_s = 300 \div 700 \text{ кг/м}^3$; экспериментальные данные: 3 — перлитобетон ($\gamma_{\text{перл}} < 700 \text{ кг/м}^3$); 4 — то же, с добавкой кварцевого песка ($\gamma_{\text{перл}} < 700 \text{ кг/м}^3$); 5 — то же ($\gamma_{\text{перл}} > 700 \text{ кг/м}^3$); 6 — керамзитоперлитобетон; 7 — шлакопемзоперлитобетон

Следует отметить, что при испытании призм на сжатие они разрушались во всех случаях по крупному заполнителю и раствору.

Ползучесть бетонов при сжатии определялась на пропаренных образцах размером $15 \times 15 \times 60 \text{ см}$ на пятые сутки после их изготовления. Предельная величина деформации ползучести керамзитоперлитобетона по результатам испытаний, проведенным А. А. Кудрявцевым, составляла 1 мм/м , а шлакопемзоперлитобетона марок 50 и 200 по данным авторов — $0,75 \text{ мм/м}$. При этом степень обжатия призм составляла 0,5 разрушающей нагрузки.

Величина деформации усадки керамзитоперлитобетона марки 50 на вспученном перлитовом песке Закарпатского месторождения при хранении неизолированных образцов в воздушно-сухих условиях получилась равной

0,43 мм/м, шлакопемзоперлитобетона марки 50—0,55 мм/м, а марки 200 — 0,48 мм/м.

Для бетонов, предназначенных для наружных стеновых конструкций, большое значение имеют такие свойства, как морозостойкость, теплопроводность, водостойкость.

Морозостойкость определяли по ГОСТ 7025—54 на образцах из перлитобетона, керамзито- и шлакопемзоперлитобетона размером $10 \times 10 \times 10$ см. После 25 циклов замораживания и оттаивания ни у одного из них потерь в весе обнаружено не было. Коэффициент морозостойкости легких бетонов на вспученных перлитовых песках находится в пределах 0,88—1. В случае, когда расход цемента был мал (~ 150 кг) или при недостатке песка (порядка 30% общего объема заполнителей), коэффициент морозостойкости составлял 0,73—0,74, т. е. был ниже допустимого.

Большое влияние на прочность бетона в конструкциях оказывает их водостойкость. Воздействие водонасыщения на стойкость легких бетонов характеризуется коэффициентом размягчения и величиной капиллярного подсоса. Соответствующие испытания проводились на образцах размером $10 \times 10 \times 10$ см, высушенных до постоянного веса в 28-суточном возрасте.

Величину капиллярного подсоса перлитобетона, керамзитоперлитобетона, шлакопемзоперлитобетона определяли, погружая образцы нижней плоскостью в воду до 1 см. Затем образцы помещали в воду до полного водопоглощения, после чего испытывали на сжатие. Величина капиллярного подсоса для легких бетонов на вспученных перлитовых песках составляла через 2 суток 1,5—5 см, а через 28 суток — 2,7—6,6 см.

Коэффициент размягчения в отдельных случаях составлял 0,72—0,75, а большей частью находился в пределах 0,8—1.

Следует отметить, что водопоглощение изученных легких бетонов находится в зависимости от расхода цемента на 1 м^3 бетона.

Результаты испытаний по определению морозостойкости и водопоглощения легких бетонов на вспученных перлитовых песках приведены в табл. 5.

Испытания на теплопроводность проводились в НИИСтройфизике на приборе доктора Бокка фирмы «Карл Вейс».

Морозостойкость и водопоглощение легких бетонов на вспученных перлитовых песках

Бетон	Расход на 1 м ³ уложенного бетона			Предел прочности при сжатии образцов размером 10×10×10 см в кг/см ²	Коэффициент морозостойкости $f_{\text{т}}$	Коэффициент размягчения	Величина капиллярного подсоса в см через		Весовое водопоглощение через 7 суток в %
	крупного заполнителя в м ³	вспученного перлитового песка в м ³	цемента марки 600 (по ГОСТ 310-41) в кг				2 суток	28 суток	
Перлитобетон	0,9	0,605	152	33	0,73	0,98	4,9	6,6	32,8
	0,885	0,59	193	60	0,89	0,75	2,6	4,1	27
	0,87	0,585	253	80	1	0,82	1,9	2,8	20,9
Керамзитоперлитобетон	0,73	0,725	244	39	1	1	1,5	3,1	32,2
	0,87	0,54	223	46	1	0,99	1,7	3,2	29,5
	1,24	0,405	225	61	0,74	0,72	1,6	2,7	31,7
Шлакопемзоперлитобетон	0,753 _г	0,744	260	53	0,95	1	3,8	4,9	21,3
	0,885	0,592	256	62	0,88	0,83	2,5	4,1	21,7
	1,04	0,41	251	66	0,74	0,92	3,1	4,6	18,6

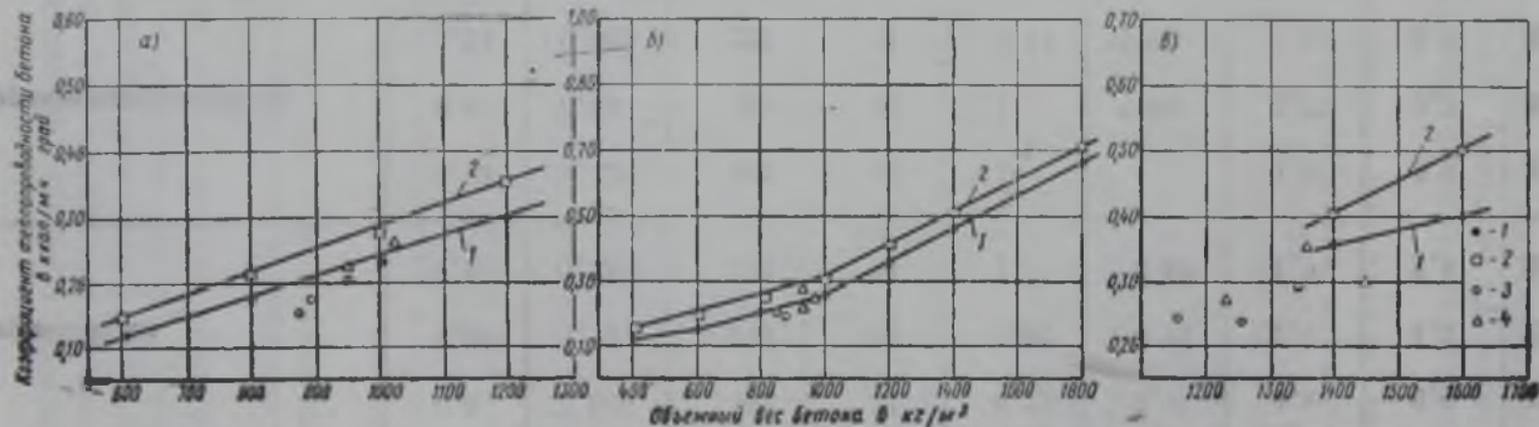


Рис. 6. Зависимость коэффициента теплопроводности легких бетонов на вспученных перлитовых песках от объемного веса

а — перлитобетон; б — керамзитоперлитобетон; в — шлакопемзоперлитобетон

данные по СНиП для перлитобетона: 1 — при условиях эксплуатации «А»; 2 — при условиях эксплуатации «Б», экспериментальные данные: 3 — в сухом состоянии; 4 — с влажностью 6—10%

Образцы размером $25 \times 25 \times 5$ см испытывали в абсолютно сухом состоянии и при влажности 6—10% (по объему). Результаты испытаний приведены на рис. 6. Полученные в опытах коэффициенты теплопроводности перлитобетонов, керамзитоперлитобетонов и шлакопемзоперлитобетонов согласуются с данными, приведенными в СНиП II-A.7-62, а в отдельных случаях показатель даже меньше.

Чтобы определить огнестойкость перлитобетона, были изготовлены плиты для совмещенной крыши с различными объемными весами 800, 1050 и 1550 кг/м³. Испытания на огнестойкость проводились в ЦНИИПО. При изготовлении плит в них закладывались термомпары. Температуру в печи в момент испытания замеряли с помощью переносного милливольтметра, а в образцах-плитах — самопишущими электронными потенциометрами.

Огнестойкость перлитобетона больше, чем тяжелого бетона, и тем выше, чем меньше объемный вес перлитобетона.

Результаты испытаний на огнестойкость приведены в табл. 6.

Таблица 6

Предел огнестойкости плит из перлитобетона в ч-мин

Толщина защитного слоя в мм	Перлитобетона при объемном весе в кг/м ³					Обычного тяжелого бетона по Н 102-54
	800		1050	1550		
	При объемной влажности бетона в %					
	17	18,3*	18,3	15,8	18,3*	
10	1-10	1-18	0-80	0-40	0-46	0-5
20	1-57	1-69	1-40	0-95	1-10	0-9
30	2-75	2-96	2-13	1-57	1-82	1-2
40	3-93	4-22	3-25	2-25	2-6	1-8
50	5-30	5-7	5-00	3-10	3-6	2-4

*Предел огнестойкости, определенный расчетным путем.

Выводы

1. Установлена возможность получения вспученных перлитовых заполнителей, пригодных для изготовления конструктивно-теплоизоляционных и конструктивных бетонов, в том числе высоких марок 300 и 350. В последнем случае надо применять перлитовый щебень с объемным насыпным весом не менее 600 кг/м³.

2. Для приготовления конструктивно-теплоизоляционных бетонов на смешанных заполнителях лучше всего использовать вспученный перлитовый песок, объемный насыпной вес которого меньше веса керамзитового и шлакопемзового песка. На таком перлитовом песке можно получить керамзитоперлитобетон марки 50 с объемным весом в сухом состоянии 800 кг/м^3 и шлакопемзоперлитобетон с объемным весом 1200 кг/м^3 .

3. Конструктивные бетоны на вспученных перлитовых песках соответствуют требованиям, предъявляемым к легким бетонам на пористых заполнителях. Это относится и к конструктивно-теплоизоляционным бетонам. Однако для них характерен значительный разброс показателей механических свойств в зависимости от вида заполнителя. Поэтому при использовании их в конструкциях необходимо предварительное определение этих свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнев Н. А., Бужевич Г. А., Евдокимов А. А., Кузнецова Н. Н., Макеева Л. А. Методика исследования основных прочностных и деформативных свойств легких бетонов при кратковременном и длительном нагружении. В сб.: «Методика испытания пористых заполнителей, легкобетонных смесей и легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1967.

2. Ковельман И. А. Производство и применение вспученного перлита в строительстве за рубежом. Опыт строительства. Информационный сборник (ЦНИИС Госстроя СССР), вып. 9, Госстройиздат, 1957.

3. Мерзляк А. Н. Легкие заполнители из перлитов и обсидианов для бетонов и теплоизоляционных материалов НИИОМТП АСИА СССР, ЦВТИ, 1958.

4. Кальянов Н. Н., Мерзляк А. Н. Вермикулит и перлит — пористые заполнители для теплоизоляционных изделий и бетонов. Госстройиздат, 1961.

5. Каменецкий С. П. Перлиты. Госстройиздат, 1963.

6. Морозов Н. В., Седакова М. Т., Цимблер В. Г. Панели из легких бетонов. Стройиздат, 1964.

Канд. техн. наук Г. А. БУЖЕВИЧ,
инж. С. М. КАГАН

АГЛОПОРИТОПЕРЛИТОБЕТОН ДЛЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Щебень и песок из аглопорита, получаемого при термической обработке силикатного сырья методом агло-

мерации, имеют, как правило, относительно большой объемный вес, и применять их для производства эффективных однослойных стеновых панелей можно только при облегченной растворной части. Одним из наиболее рациональных путей снижения объемного веса раствора является замена аглопоритового песка ($\gamma_n = 950 \div \div 1050 \text{ кг/м}^3$) мелкозернистым легким вспученным перлитом.

Советскими, а также зарубежными исследователями доказано, что использование вспученных перлитовых песков для облегчения бетонов, изготавливаемых на относительно тяжелых пористых заполнителях, экономически целесообразно даже в случае перевозки исходной перлитовой породы для ее вспучивания на большие расстояния, поскольку при обжиге перлит увеличивается в объеме до 20 раз.

Ввиду особых свойств вспученного перлита и отсутствия в литературе данных по аглопоритоперлитобетону вопросы использования его в строительстве требуют детального изучения. Соответствующие работы проводились в Минском НИИСМе и НИИЖБе.

В наших опытах применялся щебень аглопоритовый из минских суглинков с объемным насыпным весом $650\text{--}700 \text{ кг/м}^3$ и вспученный перлитовый песок из сырья Закарпатского месторождения следующего химического состава (в %): $\text{SiO}_2\text{—}76,06$; $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—}13,9$; $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{—}1,8$; $\text{CaO—}1,54$; $\text{MgO—}0,12$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O—}5,7$; п.п.п.— $1,59$. Физико-механические свойства исследованных заполнителей приведены в табл. 1. Вяжущим служил портландцемент Волковыского завода марок $400\text{--}500$.

В отдельных опытах для сравнения были использованы щебень аглопоритовый и вспученный перлитовый песок из других видов исходного сырья.

В отличие от обычных плотных заполнителей, которые практически не вступают в физико-химическое взаимодействие с продуктами гидратации цемента, легкие заполнители, особенно из вспученного перлита, являются активными компонентами бетона. Так, по результатам опытов [1, 2], тонкомолотый перлит обладает высокой гидравлической активностью. Причем активность закарпатского вулканического стекла выше, чем перлита Арагацкого месторождения.

Рентгено- и термографический анализ образцов из чистого цементного теста и с добавками заполнителей,

Характеристика пористых заполнителей, примененных в опытах

Вид заполнителей	Размер фракции в мм	Удельный вес в г/см ³	Объемный насыпной вес в кг/м ³	Объемный вес в куске в г/см ³	Водопоглощение в %	Прочность при сжатии в цилиндре в кг/см ²	Потеря веса после 15 циклов замораживания в %
Щебень из аглопорита Минского кирпичного завода № 2	10—20	2,48	640	1,36	13	10,5	0,8
	5—10	2,48	680	1,41	12,5	12,2	3,6
Вспученный в шахтной печи перлитовый песок (закарпатский)	0—5	2,29	320	0,63	127	—	—
	0—2,5	2,29	150	0,35	137	—	—

гидратированных в условиях тепловлажностной обработки ($t=85^{\circ}\text{C}$), позволяет обнаружить фазовые изменения в цементном камне, содержащем частицы вспученного перлита. На рентгенограммах (рис. 1) видны линии, свидетельствующие о наличии гидроалюминатов, а также однокальциевого силиката типа $\text{CSH}(\text{B})$, образующихся при взаимодействии $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с активным кремнеземом заполнителя. На присутствие низкоосновных гидросиликатов кальция в цементном растворе указывают также изотермические эффекты на кривых ДТА, находящиеся в области температур от 700 до 900°C (рис. 2). Этот эффект четко выражен на кривых ДТА цементно-перлитового раствора, но слабо фиксируется у раствора на аглопорите и полностью отсутствует на термограммах цементно-песчаного раствора.

Одноосновный гидросиликат $\text{CSH}(\text{B})$, сросток которого обладает повышенной прочностью, свидетельствует о возможности частичной замены цемента дисперсными фракциями активного вспученного перлитового заполнителя. Однако разбавление цемента целесообразно не во всех случаях, поскольку $\text{CSH}(\text{B})$ недостаточно стоек к воздействию CO_2 .

Специально поставленные опыты с цементно-перлитовым раствором, в состав которого вводилось различное количество вспученного перлита фракций крупностью до $0,15$ мм, показали, что по мере разбавления цемента такими частицами его стойкость при карбонизации уменьшается (рис. 3). В первом приближении

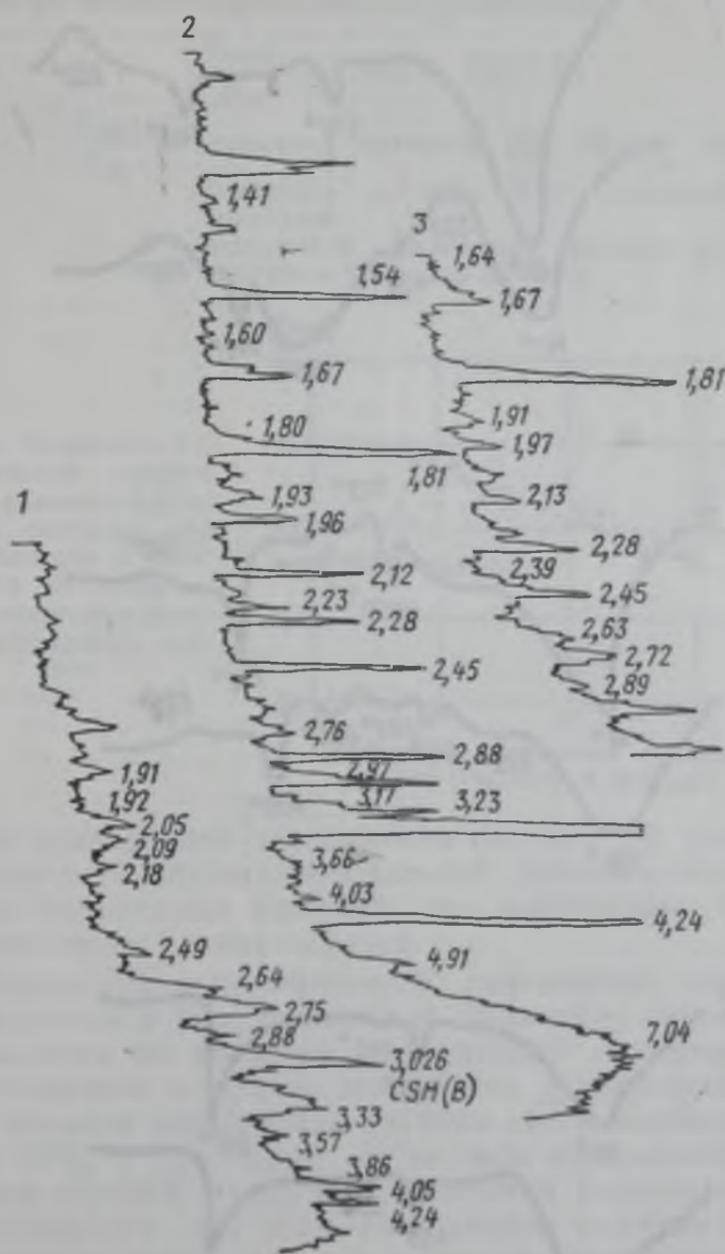


Рис. 1. Рентгенограммы цементно-песчаных растворов состава 1:4 (по объему)

1 — на вспученном перлитовом песке; 2 — на кварцевом песке; 3 — на агглопоритовом песке

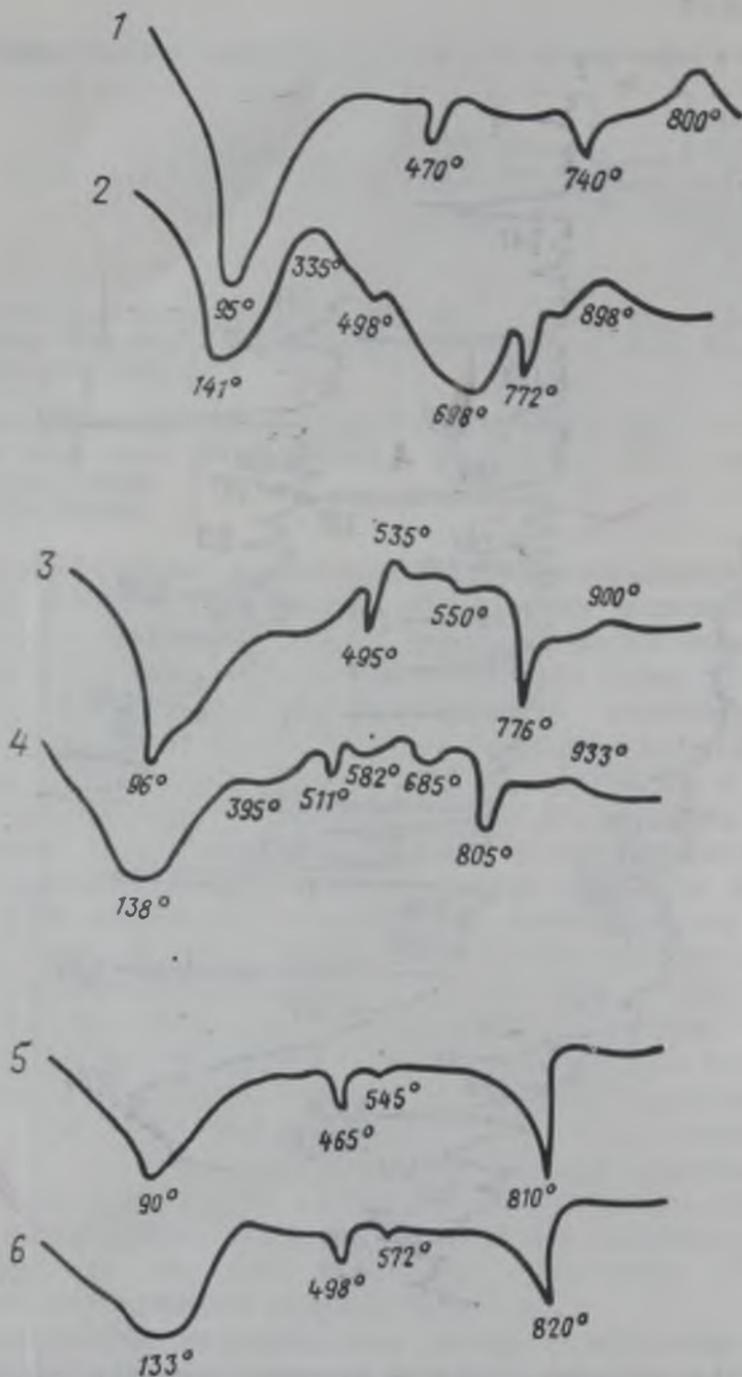


Рис 2. Термограммы затвердевших строительных растворов

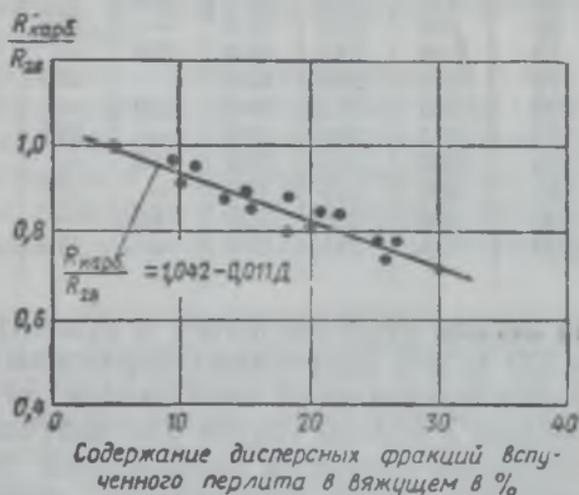
1 — цементно-перлитовый раствор после пропаривания; 2 — то же, через 90 суток; 3 — раствор на аглопоритовом песке после пропаривания; 4 — то же, через 90 суток; 5 — цементно-песчаный раствор после пропаривания; 6 — то же, через 90 суток

степень снижения прочности цементноперлитового раствора можно определить из уравнения

$$\frac{R_{\text{карб}}}{R_{28}} = 1,042 - 0,011 D,$$

где $\frac{R_{\text{карб}}}{R_{28}}$ — отношение прочности при сжатии карбонизированного раствора к его прочности до карбонизации;
 D — содержание дисперсных фракций вспученного перлита в % от веса цемента.

Рис. 3. Изменение относительной прочности цементно-перлитового раствора при карбонизации в зависимости от содержания дисперсных фракций вспученного перлита



Из приведенной зависимости следует, что для обеспечения необходимых показателей долговечности количество пылевидных фракций во вспученном перлите должно строго ограничиваться.

Повышение адсорбционной способности вяжущего при наличии в нем дисперсных фракций заполнителя учитывается по величине нормальной густоты теста. При введении молотого аглопорита в количестве 10% веса цемента нормальная густота теста повышается с 26 до 30%, а при таком же весовом содержании вспученного перлита — до 39%. Большая водопотребность образующегося при этом смешанного вяжущего предопределяет значительную пористость цементного камня и ухудшение ряда технических свойств бетона.

Составы аглопоритоперлитобетона были подобраны нами на двух партиях вспученного перлитового песка ($\gamma_n = 150 \text{ кг/м}^3$ и $\gamma_n = 320 \text{ кг/м}^3$) с целью получения бетонов марок 50—200 (табл. 2).

Аглопоритоперлитобетон прочностью более 75 кг/см^2

Основные составы аглопоритоперлитобетона марок 50—200

Марка бетона	Расход материалов в кг на 1 м ³ бетона					Объемный вес сухого бетона в кг/м ³	Предел прочности бетона при сжатии в кг/см ²
	цемент	вода	аглопорит фракции 5—20мм	вспученный перлитовый песок			
				$\gamma_n = 150$ кг/м ³	$\gamma_n = 320$ кг/м ³		
50	175	260	610	105	—	930	48
50	166	237	610	—	185	985	50
75	238	275	630	108	—	1025	79
75	220	258	630	—	190	1085	81
100	288	286	640	110	—	1090	101
100	241	258	640	—	195	1110	105
150	370	315	700	85	—	1225	152
150	280	275	700	—	170	1215	155
200	420	350	705	85	—	1265	203
200	325	285	705	—	170	1260	208

на легком ($\gamma_n = 150$ кг/м³) и относительно тяжелом ($\gamma_n = 320$ кг/м³) вспученных перлитовых песках характеризуется практически одинаковым объемным весом, поскольку в первом случае для получения бетона заданной прочности требуется повышенный расход цемента. Как показали опыты, оптимальное содержание вспученного перлитового песка для конструктивно-теплоизоляционных бетонов должно быть в пределах 35—40%, а в конструктивных составлять 30% объема заполнителей.

Адсорбция воды мелкими фракциями пористых заполнителей затрудняет ее удаление из бетона, вследствие чего весьма важным вопросом технологии аглопоритоперлитобетона является снижение его остаточной влажности. За счет гидрофобизации вспученного перлитового песка и введения поверхностно-активных добавок (ГКЖ, ССБ, абиеатат натрия) возможно некоторое снижение влажности бетона (на 2—3%). Более эффективен электропрогрев, а также новые методы ускорения твердения, которые позволяют после тепловой обработки получить аглопоритоперлитобетон с влажностью, близкой к сорбционной. К таким способам относятся: метод интенсификации процесса твердения в электромагнитном поле с использованием токов промышленной частоты, предложенный А. В. Лыковым и С. Г. Романовским, способ А. Е. Шейкина и Б. Г. Скрамтаева — обработка

бетона в расплавленном петролатуме и термообработка в электроиндукционной установке с излучающими поверхностями, предложенная М. Т. Солдаткиным и С. К. Будько.

Аглопоритоперлитобетонные смеси обладают повышенной связностью и не расслаиваются. Поэтому предпочтительно готовить их в бетоносмесителях гравитационного действия. Это позволяет ограничивать содержание дисперсных частиц перлита, количество которых увеличивается в случае применения машин принудительного смешивания, которые частично измельчают зерна пористых заполнителей.

При исследовании прочностных характеристик и процесса разрушения аглопоритоперлитобетона при действии сжимающей нагрузки последовательные процессы уплотнения, разуплотнения и разрушения структуры бетона фиксировались с помощью ультразвуковой аппаратуры, а также механическими и электротензометрическими приборами.

В качестве основных образцов при изучении прочности бетона при сжатии и процесса микротрещинообразования принимались призмы размером $15 \times 15 \times 60$ см и кубы $15 \times 15 \times 15$ см. Чтобы иметь возможность сопоставлять полученные результаты с данными других исследователей и определять влияние масштабного фактора, кроме указанных образцов, изготовлялись также кубы с размером ребра 7, 10 и 20 см. Образцы пропаривали по режиму 3+8+6 ч при температуре изотермического прогрева $80-85^\circ\text{C}$.

При испытании на сжатие призматические образцы центрировали в прессе по физической оси. Дифференциальный коэффициент поперечной деформации по методике О. Я. Берга [3] вычислялся из соотношения приращения поперечных ($\Delta \epsilon_{\text{поп}}$) и продольных ($\Delta \epsilon_{\text{прод}}$) полных деформаций, измеряемых на каждой ступени нагрузки. За начало микроразрушения бетона R_T^0 принималось напряжение сжатия, соответствующее наименьшему времени прохождения ультразвукового импульса через образец и точке на кривой, построенной по формуле

$$\frac{\Delta \epsilon_{\text{поп}}}{\Delta \epsilon_{\text{прод}}} = f(\sigma) \quad \text{либо} \quad \frac{\Delta \epsilon_{\text{поп}}}{\Delta \sigma} = f(\sigma)$$

исходя из результатов тензометрических измерений, которые фиксируют интенсивный рост поперечных дефор-

маций. Условная верхняя граница микротрещин R_p^* принималась при достижении значений $\Delta v = 0,5$ и при $\Delta Q = 0$ (при этом приращение объема вычисляли из условий $\Delta Q = \Delta \epsilon_{\text{прод}} - 2\Delta \epsilon_{\text{поп}}$).

Прочность при осевом растяжении (R_p) определялась на образцах-восьмерках сечением 10×10 см с длиной призматической части 40 см, а также на кубах с длиной ребра 10 и 15 см, которые подвергались раскалыванию. В последнем случае вычисление R_p производилось по формуле

$$R_p = \frac{2P}{\pi a^2}$$

$R_{\text{ср}}$ определяли по результатам испытаний на срез Z-образных образцов.

Объемный вес и прочность при сжатии (R) были установлены для аглопоритоперлитобетона марок 35—200 в зависимости от температурно-влажностного режима твердения и возраста бетона, а также от размеров и формы образцов. Объемный вес аглопоритоперлитобетона по сравнению с равнопрочным аглопоритобетоном был в среднем на 25% меньше. Максимальные (расчетные) значения объемного веса бетонов при $\gamma_3 = 700 \text{ кг/м}^3$ и марках бетона 35, 50, 75, 100 и 200 были равны соответственно 1000, 1100, 1200, 1300 и 1400 кг/м^3 . Применение аглопоритового щебня с $\gamma_3 = 400 \div 450 \text{ кг/м}^3$ снижало объемный вес конструктивно-теплоизоляционного аглопоритобетона еще на 10—15%.

В нормальных условиях прочность аглопоритоперлитобетона с течением времени закономерно возрастает. Показатели роста прочности практически такие же, как и для тяжелого бетона на цементе с гидравлическими добавками (табл. 3).

В воздушно-сухих условиях прочность аглопоритоперлитобетона высоких марок возрастает. При расходах цемента менее 200 кг/м^3 прочность такого бетона в течение длительного времени изменяется мало, а в отдельных случаях наблюдается некоторое снижение R_6 . Аналогичная закономерность характерна для других видов легкого бетона [4, 6, 7], а также для тяжелого бетона на смешанном вяжущем [10] (рис. 4). Полученные нами данные о фазовом составе и структуре новообразований цементирующего вещества, содержащего дисперсные

**Нарастание прочности бетона на портландцементе при твердении
в нормальных условиях**

Возраст бетона T	Коэффициент роста прочности $\left(K = \frac{R_6}{R_{28}}\right)$			
	аглопоритопер- литобетона	керамзитобе- тона	тяжелого бетона	
			без добавки	с гидравличес- кими добавкам
28 суток	1	1	1	1
3 мес.	1,25	1,25	1,35	1,26
6 »	1,38	1,5	1,6	1,4
1 год	1,55	1,75	1,8	1,55
2 года	1,6	2	2,1	1,8

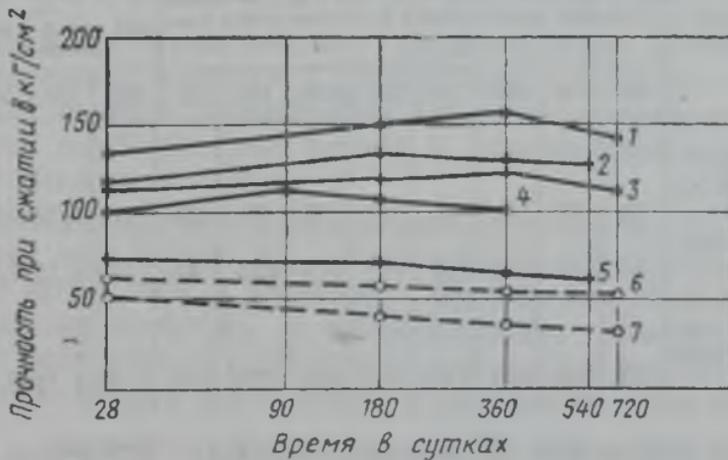


Рис. 4. Изменение прочности бетона при длительном твердении в воздушно-сухих условиях

1—5 — аглопоритоперлитобетон; 6 — бетон на литондной пемзе по данным [7]; 7 — тяжелый бетон на смешанном вяжущем [9]

частицы активного перлитового заполнителя, позволяют объяснить это явление процессом карбонизации. В случае недостаточного содержания цемента либо значительного разбавления его кремнеземистым компонентом повышение прочности бетона вследствие продолжающейся гидратации не компенсирует потерю прочности в результате карбонизации $CSH(B)$. Данные о подобных изменениях прочности бетонов автоклавного твердения приведены в работе [8].

Глубина атмосферной карбонизации h (см) в зависимости от времени t (суток) для аглопоритоперлитобетона марок 50—100 может быть вычислена по формуле: $h=0,147\sqrt{t}$. При прочих равных условиях к 28 суткам прочность бетона в кубах с размером ребер 10, 15 и 20 см изменяется по общеизвестной закономерности и коэффициенты перехода к прочности стандартных кубов близки к нормируемым ($R_{20} : R_{15}=0,92$; $R_{20} : R_{10}=0,87$). В воздушно-сухих условиях по мере карбонизации бетона значения этих коэффициентов возрастают (табл. 4).

Таблица 4

Влияние размеров образцов на изменение прочности бетона с течением времени (при воздушно-сухих условиях хранения)

Характеристика бетона	R_{28} в кг/см ² кубов с размером ребра в мм				R_1 год в кг/см ² кубов с размером ребра в мм				$\frac{R_1 \text{ год}}{R_{28}}$ для кубов с размером ребра в мм			
	200	150	100	70	200	150	100	70	200	150	100	70
Аглопоритоперлитобетон марки 75 . . .	74	72	81	80	81	75	71	69	1,11	1,04	0,88	0,86
То же, марки 200 . . .	141	148	162	160	167	173	155	144	1,19	1,17	1,04	0,9
Бетон на литоидной пемзе [7] марки 200	159	165	180	177	195	197	170	168	1,23	1,19	0,94	0,95

Для полностью карбонизированных образцов справедливы нормируемые значения коэффициентов перехода, принимаемые по СНиП при испытании кубов различных размеров. Призменная прочность аглопоритоперлитобетона при осевом сжатии $R_{пр}$, так же как и величина отношения призменной прочности к кубиковой, увеличивается с повышением марки бетона. Наиболее низкие значения отношения $R_{пр}$ к $R_{куб}$ получены для малопрочного бетона. При марке бетона 50—100 отношение $R_{пр}/R_{куб}$ составляет 0,83, а для бетона марок 150—200 — 0,88. Для нормирования рекомендуется принять $R_{пр}/R_{куб}=0,85$.

Значения показателей, характеризующих область микроразрушений — R_T^0 и R_T^y аглопоритоперлитобетона по сравнению с тяжелым бетоном одинаковой прочности, в наших опытах были на 5—7% выше. Такие ре-

зультаты объясняются лучшим сцеплением цементного камня с высокопористыми заполнителями. Кроме того, как показано А. С. Дмитриевым, повышение границ микроразрушений в бетоне на менее прочных заполнителях является следствием сближения модулей упругости щебня и растворной части бетона [например, модуль упругости цементно-перлитового раствора равен $(31-74) \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$, а данный показатель аглопоритового щебня с $\gamma_3 = 700 \text{ кг/м}^3$, по данным И. А. Иванова [9], равен $(46-70) \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$].

При длительном хранении бетонных образцов в нормальных условиях границы микроразрушения систематически повышаются. В воздушно-сухих условиях структурные изменения проявляются при меньших значениях напряжений, особенно в низкомарочных бетонах, у которых, как правило, на кривых $\frac{\Delta \varepsilon_{\text{поп}}}{\Delta \sigma} = f(\sigma)$ отсутствует горизонтальный участок, что свидетельствует о развитии деструктивных явлений. Стабилизация структурно-механических свойств практически совпадает с завершением процесса карбонизации бетона и установлением равновесной влажности бетона.

Значения прочности при осевом растяжении R_p и растяжении при изгибе $R_{p,и}$ аглопоритоперлитобетона ниже (до 20%), чем у тяжелого бетона, что объясняется высокой пористостью, а следовательно, малой прочностью вспученного перлитового песка. Отношение прочности при осевом растяжении к прочности при сжатии $\frac{R_p}{R_{куб}}$ изученного бетона марок 50, 100 и 200 составляет соответственно 0,09; 0,08 и 0,69.

На основании опытов прочность при осевом растяжении может быть вычислена по формуле Р. Фере (при $K=0,4$):

$$R_p = 0,4 \sqrt[3]{R_{куб}^2}$$

Отношение прочности на растяжение при изгибе к осевому растяжению $\frac{R_{p,и}}{R_p}$ мало зависит от технологических факторов и в среднем составляет 1,64.

С возрастом образца общая закономерность изменения отношения $\frac{R_p}{R_{куб}}$ сохраняется.

Прочность при срезе $R_{ср}$ зависит от марки бетона и его прочности при растяжении. Данные опытов хорошо согласуются со значениями, вычисленными по формуле Мёрша (при $K=0,48$):

$$R_{ср} = 0,48 \sqrt{R_{куб} R_p}.$$

Прочность сцепления гладкой арматуры с аглопоритоперлитобетоном марок 75, 100 и 200 характеризуется отношением $\frac{R_{сш}}{R_{куб}}$, которое равно соответственно 0,197; 0,177 и 0,135. Заметной разницы в сопротивлении сдвигу арматуры в аглопоритоперлитобетоне и обычном бетоне (в исследованном диапазоне прочностей) в наших опытах не наблюдалось.

Полученные в результате обработки опытных данных значения начального модуля упругости аглопоритоперлитобетона марок 50—200 в возрасте 28 суток могут быть представлены зависимостью:

$$E_6 = \frac{250\,000 R_{куб}}{185 + R_{куб}}.$$

При этом отклонение значений E_6 от опытных данных не превышает 5,6%. В опытах существенное влияние объемного веса вспученного перлитового песка на значения E_6 не установлено.

Кривая, отражающая зависимость $E_6 = f(R_{куб})$ для аглопоритоперлитобетона, располагается выше значений, принятых СНиП II-V.1-62 для бетонов, изготовленных на крупном заполнителе с объемным насыпным весом 300—700 кг/м³.

Модуль упругости при растяжении аглопоритоперлитобетона в среднем на 7,5% выше, чем при сжатии. Отмечается также значительно (на 25%) большая для данного бетона величина динамического модуля упругости по сравнению со статистической.

Исследованием установлено возможное снижение модуля упругости аглоперлитобетона до 20% при длительном хранении образцов в воздушно-сухих условиях, что объясняется возникновением в бетоне микроразрушений под воздействием окружающей среды и самопроизвольных деформаций.

Коэффициент Пуассона для изученного бетона по экспериментальным данным равен 0,16—0,20.

Предельная сжимаемость аглопоритоперлитобетона

возрастает по мере увеличения прочности: при марке 50 показатель $\epsilon_c = 1,080 \cdot 10^{-3}$, при марке 200 $\epsilon_c = 2,1 \cdot 10^{-3}$. Предельная растяжимость данного бетона примерно в 10 раз меньше указанных величин и в среднем равна $0,14 \cdot 10^{-3}$.

Ползучесть аглопоритоперлитобетона изучалась на неизолированных от теплопотерь образцах размером $15 \times 15 \times 60$ см. Призмы загружали в раннем возрасте—через двое суток после пропаривания до напряжений 0,3 и 0,5 $R_{пр}$. Наблюдения за ползучестью продолжались 3 года. Ползучесть определяли как разность между деформациями нагруженных образцов и деформациями усадки контрольных образцов. Для оптимальных составов $\epsilon_{полз}$ аглопоритоперлитобетона была больше ползучести тяжелого бетона в 1,4 раза, т. е. практически такая же, как и других видов легкого бетона. При одинаковой прочности ползучесть бетона с крупным перлитовым песком с объемным насыпным весом $\gamma_n = 320$ кг/м³ была на 10% меньше, чем ползучесть образцов, изготовленных на более мелком песке ($\gamma_n = 150$ кг/м³).

Усадка аглопоритоперлитобетона связана с особенностью объемных изменений, которые в большой степени зависят от содержания в нем вспученного перлита. Для аглопоритоперлитобетона марки 200 усадка составила 0,55 и 0,39 мм/м для составов, содержащих соответственно 50 и 30% перлитового песка. Влияние объемного насыпного веса данного песка на усадку не выявлено. Для бетона марки 75 $\epsilon_{ус} = 0,45$ мм/м как при $\gamma_n = 150$, так и при $\gamma_n = 320$ кг/м³. Аналогично и для бетона марки 200 $\epsilon_{ус} = 0,39$ и 0,38 мм/м, что незначительно превышает усадку обычного бетона (0,31 мм/м) и аглопоритобетона (0,36 мм/м).

Характерной особенностью самопроизвольного деформирования легких бетонов является увеличение объема в начальный период твердения. Продолжительность этого процесса для аглопоритобетона, по нашим данным, ограничивается 30—40 сутками, а для аглопоритоперлитобетона она составляет 160—200 суток (рис. 5). Величина таких деформаций невелика: 0,02—0,06 мм/м. Расширение отдельных видов легкого бетона в начальный период твердения отмечается в работах М. З. Симонова, Г. Д. Цискрели, Г. А. Бужевича, Н. А. Корнева, К. С. Карапетяна, М. М. Израелита и др.

Указанное влияние может быть объяснено физико-

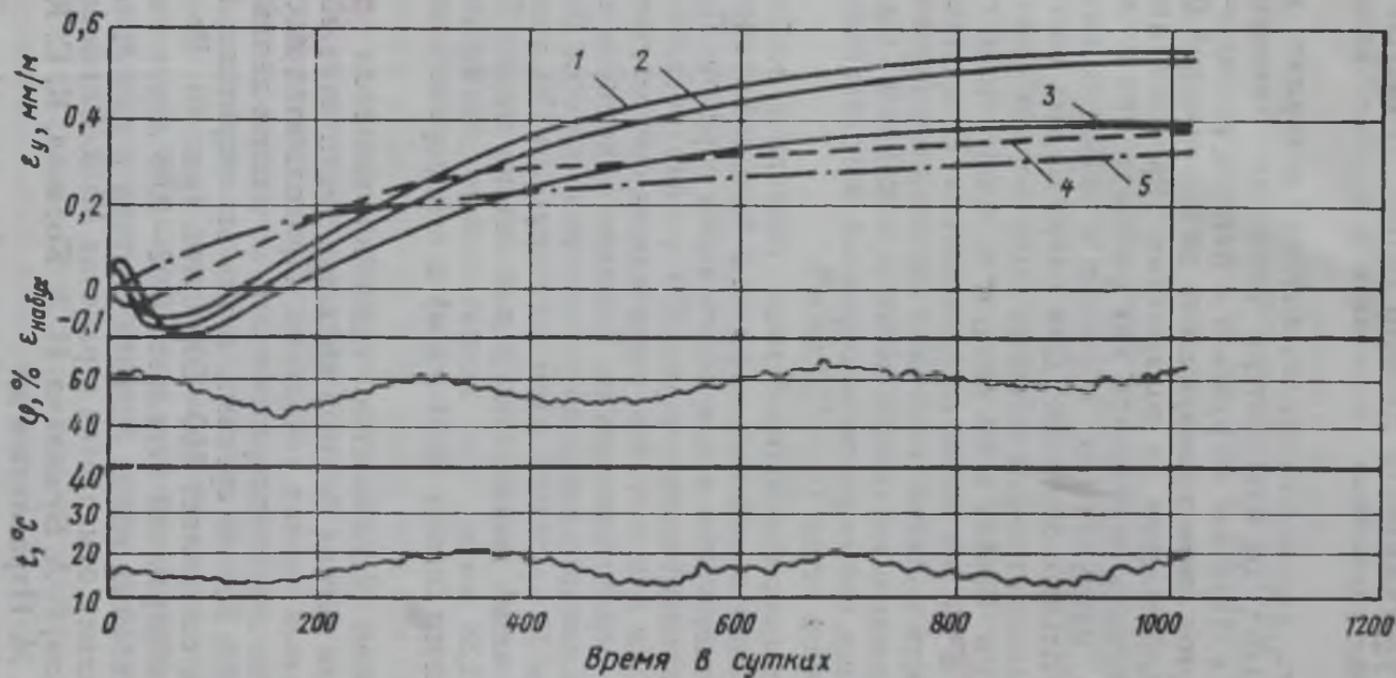


Рис. 5. Относительные деформации усадки легкого и тяжелого бетонов

1 — аглопоритоперлитобетон $R_{пр} = 175 \text{ кг/см}^2$ (50% песка $\gamma_{п} = 150 \text{ кг/м}^3$); 2 — то же, $R_{пр} = 175 \text{ кг/см}^2$ (50% песка $\gamma_{п} = 320 \text{ кг/м}^3$); 3 — то же, $R_{пр} = 190 \text{ кг/см}^2$ (30% песка $\gamma_{п} = 320 \text{ кг/м}^3$); 4 — аглопоритобетон $R_{пр} = 150 \text{ кг/см}^2$; 5 — тяжелый бетон $R_{пр} = 167 \text{ кг/см}^2$; ϵ_y — деформации от усадки; $\epsilon_{набух}$ — деформации от набухания; ϕ — относительная влажность воздуха; t °C — средняя температура воздуха

химическими процессами, происходящими при гидратации цемента в активной среде, создаваемой дисперсными частицами заполнителя. Установлено, что между этими двумя показателями существует прямая зависимость — чем выше активность заполнителя, тем продолжительнее период разбухания бетона.

Как известно, сразу после тепловлажностной обработки вследствие взаимодействия активной кремнеземистой составляющей перлита со свободной известью портландцемента концентрация $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в жидкой фазе низка, и поэтому твердение аглопоритоперлитобетона сопровождается усадкой. При дальнейшей гидратации цемента происходит насыщение жидкой фазы гидроксидом кальция. В этих условиях дисперсные фракции активного заполнителя разбухают и вызывают некоторое расширение бетона, которое определенный период преобладает над усадкой.

В водной среде деформации набухания аглопоритоперлитобетона составляют 0,08—0,11 мм/м.

Деформации бетона при повышенных температурах (от 20 до 60°C) определяли с помощью горизонтального микроскопа, установленного за пределами нагревательной камеры. В указанном диапазоне температур коэффициент линейного расширения образцов находится в пределах $10 \cdot 10^{-6} \div 12 \cdot 10^{-6}$.

Как и другие виды легких бетонов на перлитовых заполнителях, аглопоритоперлитобетон обладает высокими теплозащитными свойствами, поскольку он имеет пониженный коэффициент теплопроводности (табл. 5).

Таблица 5

Коэффициент теплопроводности аглопоритоперлитобетона марок 50—200 (в высушенном состоянии)

Марка бетона	Объемный вес в сухом состоянии в кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ в ккал/м·ч·град
50	917	0,172
100	1094	0,266
150	1165	0,263
200	1200	0,31

Влияние влаги на теплопроводность аглопоритоперлитобетона характеризуется зависимостью $\lambda_w = \lambda_0 + 0,0107W$,

где λ_0 — коэффициент теплопроводности сухого бетона;
 λ_w — то же, при влажности W в %.

Высыхание аглопоритоперлитобетона в естественных условиях происходит медленно, вследствие чего необходимо применять различные способы для снижения влажности изделий из данного бетона.

Коэффициент паропроницаемости аглопоритоперлитобетона объемным весом 920 и 1200 кг/м³ соответственно равен 0,0058 и 0,0018 г/м·ч мм рт. ст., а цементно-перлитового раствора объемным весом $\gamma_n = 650$ кг/м³ — 0,0094 г/м·ч·мм рт. ст.

Выводы

1. Аглопоритовый щебень и вспученный перлитовый песок являются эффективными заполнителями для конструктивно-теплоизоляционного бетона, предназначенного для панелей наружных стен жилых, гражданских и промышленных зданий.

2. От используемого в бетоне вспученного перлитового песка требуется, чтобы содержание тонкодисперсных фракций, обладающих гидравлической активностью и повышенной водоудерживающей способностью, в нем было минимальным и не превышало 10%.

3. Применение мелких и особо легких перлитовых песков ($\gamma_n < 150$ кг/м³) отрицательно сказывается на физико-механических и теплофизических свойствах бетона.

4. Характеристики прочности и деформативности аглопоритоперлитобетона при сжатии хорошо согласуются с данными СНиП II-V.1-62 для легких бетонов на других пористых заполнителях. Прочность же на растяжение такого бетона на 20% ниже.

5. При малом содержании в бетоне цемента (менее 200 кг/м³) либо значительном разбавлении его дисперсными фракциями вспученного перлита процессы гидратации не компенсируют потерю прочности бетона вследствие карбонизации CSH(B). В этих условиях возможно снижение прочности, границ микроразрушений и модуля упругости до ~ 18—20%.

ЛИТЕРАТУРА

1 Бужевич Г. А., Каган С. М. Основные свойства вспученных перлитовых песков. В сб.: «Легкие и силикатные бетоны». «Наука и техника», Минск, 1969.

2 Будников П. П., Савельев В. Г., Петрович И. М.

Исследование физико-химических свойств закарпатского перлита. Труды МХТИ им. Менделеева, вып. 1, М., 1966.

3. Берг О. Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. Госстройиздат, 1962.

4. Бужевич Г. А., Корнев Н. А. Керамзитожелезобетон. Госстройиздат, 1963.

5. Мощанский Н. А. Плотность и стойкость бетонов. Госстройиздат, 1951.

6. Симонов М. З. Бетон и железобетон на пористых заполнителях. М., 1955.

7. Карапетян К. С. Влияние размеров образца на усадку и ползучесть бетона. Известия АН Арм. ССР, серия ФМТ наук, IX, т. 1, 1956.

8. Миронов С. А., Кривицкий М. Я., Малинина Л. А., Малинский Е. Н., Счастный А. Н. Бетоны автоклавного твердения. Стройиздат, 1968.

9. Иванов И. А., Макридин Н. И. Исследование эффекта предварительного обжата аглопорита и керамзита в легких бетонах. В сб. научных работ Пензенского ИСИ, вып. IV. Приволжское книжное издательство, Саратов—Пенза, 1967.

10. Manns W. und Schatz O. Über die Beeinflussung des Festigkeit von Zementmörteln durch Karbonisation Betonstein-Zeitung, 1967, № 4.

Инж. С. П. ТИХОНОВ

МАЛОУСАДОЧНЫЙ ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ШЛАКОПЕМЗОБЕТОН

Изучение влияния технологических факторов на прочность при сжатии и усадку шлакопемзобетона [1] показало, что при использовании алитового низкоалюминатного портландцемента и при замене пористого песка кварцевым, а также при назначении оптимального водосодержания легкобетонной смеси можно получить конструктивный шлакопемзобетон, усадка которого близка к усадке равнопрочного тяжелого бетона. Такая же закономерность наблюдалась и при исследовании высокопрочного керамзитобетона и аглопоритобетона [2].

В настоящей работе приведены результаты лабораторной и заводской проверки возможности получения такого высокопрочного малоусадочного шлакопемзобетона марок 300 и более.

Для исследований нами были использованы: алитовый низкоалюминатный портландцемент Белгородского завода ($C_3A \leq 8\%$), щебень (фракция 5—20 мм) из шлаковой пемзы Криворожского металлургического завода и кварцевый песок с модулем крупности 2,2.

Для опытов, проведенных на заводе ЖБК № 12 треста Кривбассжелезобетон, были взяты: алитовый низкоалюминатный портландцемент Здолбуновского завода ($C_3A \leq 8\%$), щебень (фракция 5—15 мм) из шлаковой пемзы Криворожского металлургического завода и кварцевый песок с модулем крупности 1,53. Причем в шлакопемзовом щебне содержалось примерно 15% по весу пористого песка.

Данные лабораторных исследований прочности при сжатии и усадки шлакопемзобетона сравнивались с прочностью при сжатии и усадкой тяжелого бетона на гранитном щебне (фракция 5—20 мм).

Результаты физико-механических испытаний портландцементов приведены в табл. 1, а крупных заполнителей — в табл. 2.

Таблица 1

Результаты физико-механических испытаний портландцементов

Цемент	Удельная поверхность в $см^2/г$	Нормальная плотность цементного теста в %	Сроки схватывания		Прочность при сжатии образцов в $кг/см^2$
			начало в ч—мин	конец в ч—мин	
Портландцемент Белгородского завода	3025	23,5	2—17	3—52	452
Портландцемент Здолбуновского завода	2973	24,25	2—20	4—05	476

Таблица 2

Результаты испытаний крупных заполнителей

Вид заполнителя и фракция зерен	Объемный насыпной вес в $кг/м^3$	Объем межзерновых пустот в %	Водопоглощение в % в течение		Прочность при сжатии смеси пористого заполнителя в цилиндре в $кг/см^2$
			1 ч	48 ч	
Щебень из шлаковой пемзы, фракция 5—20 мм	764	46,3	15	15,8	23,4
То же, фракция 5—15 мм	745	48	16,2	17,6	13,9
Щебень из гранита, фракция 5—20 мм	1430	46	1,5	2,8	—

Из данных табл. 2 видно, что щебень из шлаковой пемзы как в лабораторных, так и в заводских условиях по прочности при сжатии (ГОСТ 9758—61) отвечает требованиям к шлакопемзовому щебню для приготовления высокопрочного легкого бетона [3]. Шлакопемзобетонная смесь, взятая для лабораторных исследований, содержала оптимальное количество кварцевого песка, которое определялось следующим образом.

Брали сухие навески щебня из шлаковой пемзы и кварцевого песка так, чтобы сумма их объемов равнялась 8 л, а доля кварцевого песка в смеси заполнителей по объему (r) равнялась 0,33; 0,37; 0,40; 0,45 и 0,53. К навеске заполнителей добавляли портландцемент Белгородского завода в количестве 2,2 кг (примерно 350 кг/м^3) и смешивали их на предварительно увлажненном противне в течение 1—2 мин а затем в полученную смесь постепенно доливали воду до получения жесткости бетонной смеси $25 \pm 2 \text{ сек}$ (по ГОСТ 11051—64). Причем после каждой порции долитой воды бетонную смесь интенсивно перемешивали в течение 5 мин.

Оптимальным значением r считалось то, которое при расходе цемента 350 кг/м^3 и жесткости смеси $25 \pm 2 \text{ сек}$ обеспечивало наименьшую водопотребность шлакопемзобетонной смеси.

Нами было определено, что для применяемых в данной работе материалов оптимальное значение $r=0,37$ [2].

Лабораторные опытные замесы шлакопемзобетона были приготовлены при $r=0,37$ и расходах портландцемента Белгородского завода в пределах 305—560 кг/м^3 .

В заводском составе шлакопемзобетона доля песка (кварцевый+шлакопемзовый) в смеси заполнителей по объему была принята равной 0,38, а расход портландцемента Здолбуновского завода 350 кг/м^3 обеспечивал получение шлакопемзобетона марки 300.

Необходимо отметить, что в лабораторных опытах использовали сухие заполнители; на заводе влажность шлакопемзового заполнителя составляла 4%, а кварцевого песка (по весу) — 7%.

Приготавливали, укладывали и уплотняли шлакопемзобетонную смесь в соответствии с требованиями инструкции по изготовлению изделий из высокопрочных легких бетонов [3].

Образцы из шлакопемзобетона и тяжелого бетона ла-

бораторного изготовления после формования выдерживали 3—4 ч под целлофановой пленкой, а затем пропаривали по режиму 4+8+2 ч при температуре изотермического прогрева 80°C. Образцы из шлакопемзобетона заводского изготовления после формования выдерживали 3—4 ч в закрытой пропарочной камере, а затем пропаривали по режиму 4+12+2 ч при температуре изотермического прогрева 65—70°C. Испытывали образцы через 2 ч после пропаривания и в возрасте 28 суток при хранении в нормальных условиях.

В табл. 3 приведены результаты подбора состава бетона и определения прочности при сжатии и объемного веса шлакопемзобетона по ГОСТ 11050—64 и тяжелого бетона по ГОСТ 10180—62.

Данные табл. 3 показывают, что расход цемента в шлакопемзобетоне лабораторного изготовления близок к расходу цемента в равнопрочном тяжелом бетоне марок 300—400 и составляет в среднем 1,1 кг на 1 кГ/см^2 прочности при сжатии шлакопемзобетона в возрасте 28 суток. В шлакопемзобетоне заводского изготовления в результате применения мелкозернистого кварцевого песка и шлакопемзобетонного щебня с меньшей прочностью (см. табл. 2) удельный расход цемента увеличился на 11%.

Усадка шлакопемзобетона лабораторного изготовления изучалась на бетонных образцах-призмах размерами 10×10×30 см и 15×15×60 см, а заводского изготовления — на бетонных образцах размером 15×15×60 см.

Образцы призмы изготовляли при тех же условиях, что и образцы-кубы, на которых определяли прочность бетона на сжатии. На торцовых сторонах призм размером 10×10×30 см закладывались бронзовые реперы, а на всех боковых сторонах образцов размером 15×15×60 см — стальные реперы на расстоянии 40 см один от другого.

После пропаривания бетонные призмы хранились в воздушно-сухих условиях при относительной влажности воздуха 50—60% и температуре 20±3°C.

Длину образцов размером 10×10×30 см измеряли с помощью стационарного индикаторного прибора, а образцов размером 15×15×60 см — с помощью переносного индикаторного прибора, точность отсчета которых составляла 0,01 мм.

Длину бетонных призм определяли через 1, 3, 7 су-

Результаты лабораторных и производственных подборов составов бетонов

№ составов	Вид бетона и значение r	В/Ц затворения	Жесткость бетонной смеси в сек	Объемный вес уплотненной бетонной смеси в $кг/м^3$	Фактический расход материалов на $1 м^3$ уложенного бетона					Прочность при сжатии в $кг/см^2$ пропаренных бетонов после хранения в течение		Объемный вес сухого бетона в $кг/м^3$
					цемент в кг	песок кварцевый в кг	песок шлакопемзовый в кг	цемень в кг	вода в л	1 суток	28 суток	
1		0,71	28	2030	305	820	—	690	215	186	269	1820
2	Шлакопемзобетон на	0,59	26	2050	355	805	—	680	210	224	335	1850
3	щебне из шлаковой	0,48	26	2080	430	782	—	663	205	308	420	1890
4	пемзы $r=0,37$	0,36	25	2135	560	745	—	630	200	466	544	2010
5*		0,66	20	2000	350	634	118	668	230	240	288	1830
6	Тяжелый бетон на	0,47	24	2470	345	780	—	1180	162	249	346	2360
7	гранитном щебне $r=0,38$	0,42	25	2480	395	770	—	1150	166	298	390	2380

* Шлакопемзобетон заводского изготовления.

ток после окончания пропаривания, а затем еженедельно до полного прекращения усадки. Одновременно с определением изменения длины бетонных образцов размером $10 \times 10 \times 30$ см устанавливали, насколько уменьшился их вес. При этом высыхание и усадку определяли одновременно на трех образцах-близнецах. Кривые высыхания и усадки строили по средним результатам.

На рис. 1 приведены экспериментальные кривые высыхания и усадки пропаренных шлакопемзобетона и тяжелого бетона, которые позволяют сделать следующие выводы.

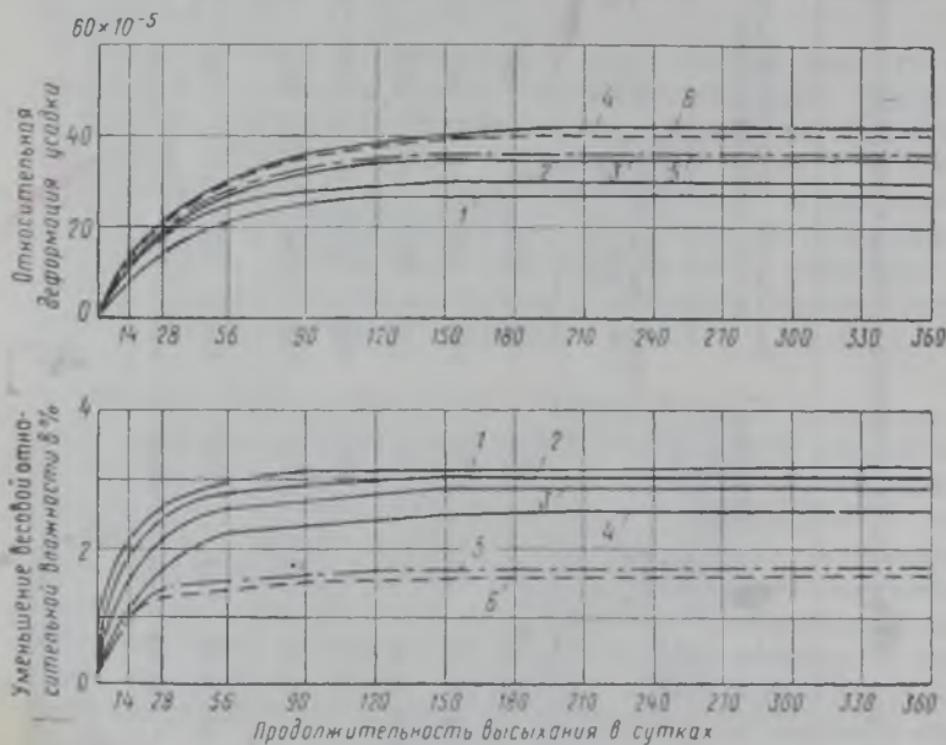


Рис. 1. Высыхание и усадка шлакопемзобетона на кварцевом песке. Образцы размером $10 \times 10 \times 30$ см

1 — $\rho = 305$ кг/м³ и $V/C_{\text{затв}} = 0,71$; 2 — $\rho = 355$ кг/м³ и $V/C_{\text{затв}} = 0,59$; 3 — $\rho = 430$ кг/м³ и $V/C_{\text{затв}} = 0,48$; 4 — $\rho = 560$ кг/м³ и $V/C_{\text{затв}} = 0,36$; 5 и 6 — тяжелый бетон соответственно при $\rho = 345$ и 395 кг/м³ и $V/C_{\text{затв}} = 0,47$ и $0,42$

1. Высыхание образцов как из тяжелого бетона, так и из шлакопемзобетона при относительной влажности воздуха 50—60% и температуре $20 \pm 3^\circ\text{C}$ происходило

интенсивно и к 150—180 суткам полностью заканчивалось.

2. Весовые влагопотери в образцах из тяжелого бетона равнялись 1,65—1,68%, а в образцах из шлакопемзобетона 2,55—3,15%.

3. Пропаренные образцы из тяжелого бетона и шлакопемзобетона начали давать усадку через сутки после окончания пропаривания.

4. Полная усадка образцов из тяжелого бетона при расходах цемента 345 и 395 $\text{кг}/\text{м}^3$ и V/C затворения 0,47 и 0,42 соответственно равнялась $36 \cdot 10^{-5}$ и $40 \cdot 10^{-5}$ $\text{мм}/\text{мм}$; полная же усадка шлакопемзобетона при расходах цемента 305, 355, 430 и 560 $\text{кг}/\text{м}^3$ и V/C затворения 0,71; 0,59; 0,48 и 0,36 соответственно равнялась $27 \cdot 10^{-5}$, $30 \cdot 10^{-5}$, $35 \cdot 10^{-5}$ и $42 \cdot 10^{-5}$ $\text{мм}/\text{мм}$.

Анализ данных рис. 1 показывает, что полная усадка шлакопемзобетона была на 12,5—16,5% меньше полной усадки равнопрочного тяжелого бетона.

На рис. 2 приведены экспериментальные кривые усадки пропаренных образцов размером $15 \times 15 \times 60$ см из шлакопемзобетона лабораторного и заводского изготовления, а также тяжелого бетона. Эти кривые строились по средним результатам, полученным при определении усадки двух бетонных призм-близнецов по всем четырем сторонам.

Из данных рис. 2 можно сделать следующие выводы.

1. Пропаренные образцы из тяжелого бетона и шлакопемзобетона начинали давать усадку через 3 суток после пропаривания, а к 210—240 суткам хранения усадка образцов заканчивалась.

2. Полная усадка тяжелого бетона при расходах цемента 345 и 395 $\text{кг}/\text{м}^3$ и V/C затворения 0,47 и 0,42 соответственно равнялась $33,5 \cdot 10^{-5}$ и $37 \cdot 10^{-5}$ $\text{мм}/\text{мм}$; полная же усадка шлакопемзобетона лабораторного изготовления при расходах цемента 355 и 430 $\text{кг}/\text{м}^3$ и V/C затворения 0,59 и 0,48 составляла соответственно $27,5 \cdot 10^{-5}$ и $32 \cdot 10^{-5}$ $\text{мм}/\text{мм}$; полная усадка шлакопемзобетона заводского изготовления при расходе цемента 350 $\text{кг}/\text{м}^3$ и V/C затворения 0,66 достигала $26 \cdot 10^{-5}$ $\text{мм}/\text{мм}$.

Таким образом, данные рис. 2 показывают, что полная усадка шлакопемзобетона лабораторного и заводского изготовления была примерно на 16% меньше полной усадки равнопрочного тяжелого бетона.

Применение малоусадочного шлакопемзобетона вза-

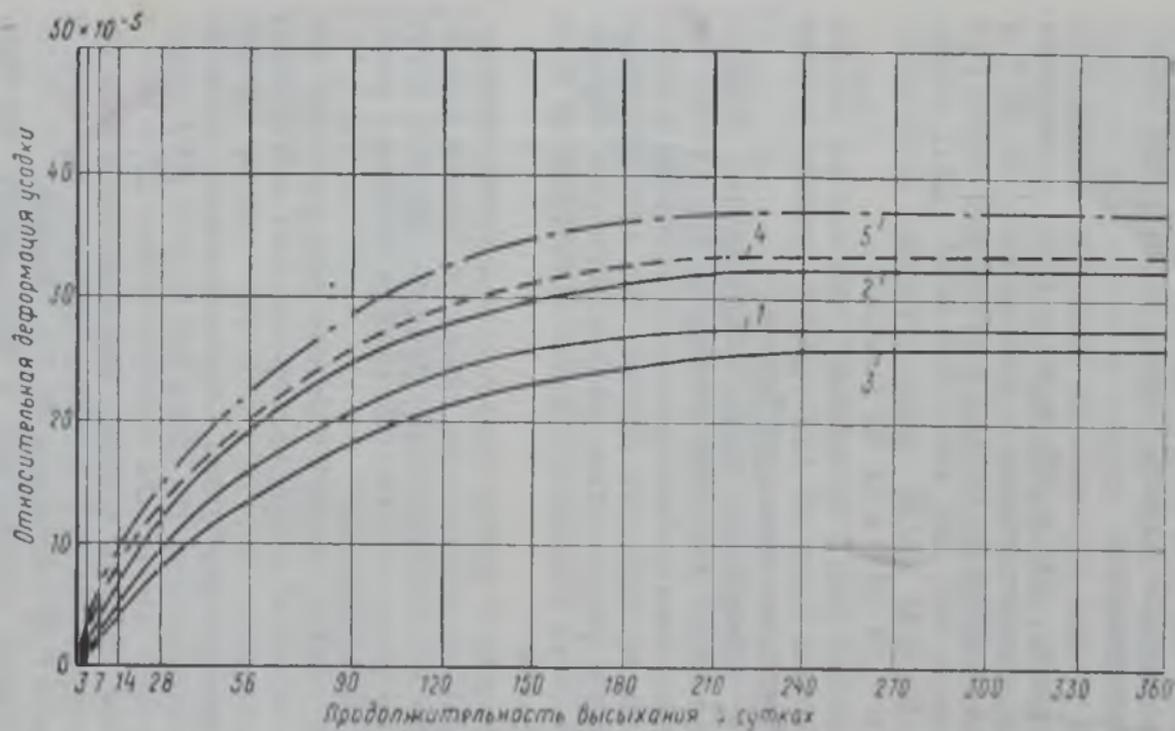


Рис. 2. Усадка шлакопемзобетона. Образцы размером $15 \times 15 \times 60$ см
 1 и 2 — лабораторные составы шлакопемзобетона соответственно при $C=355$ и 430 кг/м^3 и $B/C_{\text{затВ}}=0,59$
 и $0,48$; 3 — производственный состав шлакопемзобетона при $C=350 \text{ кг/м}^3$ и $B/C_{\text{затВ}}=0,66$; 4 и 5 — тяже-
 лый бетон соответственно при $C=345$ и 395 кг/м^3 и $B/C_{\text{затВ}}=0,47$ и $0,42$

мен тяжелого при изготовлении предварительно напряженных плит покрытия 3×6 м обеспечило высокую прочность, жесткость и трещиностойкость этих плит и позволило снизить стоимость 1 м^3 плиты на 2 руб. [2, 4].

Выводы

1. Результаты исследований усадки высокопрочного шлакопемзобетона марок 300 и более показали, что при использовании алитового низкоалюминатного портландцемента, качественного шлакопемзowego щебня и кварцевого песка (в оптимальном количестве), а также при соответствующем минимальном водосодержании бетонной смеси можно получить малоусадочный шлакопемзобетон, усадка которого не превышает усадки равнопрочного тяжелого бетона на гранитном щебне.

2. Возможность получения малоусадочных высокопрочных легких бетонов на различных качественных пористых заполнителях позволяет проектировать более экономичные легкобетонные конструкции, особенно предварительно напряженные, у которых потеря напряжения арматуры от усадки не будет превышать величины таких потерь в конструкциях из тяжелого бетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бужевич Г. А., Тихонов С. П. Исследование влияния технологических факторов на прочность при сжатии и усадку высокопрочного шлакопемзобетона. Сб. трудов IV Всесоюзной конференции по химии и технологии ячеистых бетонов. Пенза, 1969.

2. Тихонов С. П. Исследование усадки высокопрочных легких бетонов на пористых заполнителях. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук, М., 1969.

3. Инструкция по изготовлению изделий из новых видов легких бетонов (конструктивных и высокопрочных, поризованных, на вспученных перлитовых песках и с применением кремнийорганических добавок). Стройиздат, 1966.

4. Тихонов С. П., Рябченкова Л. Д., Косов Н. П. Применение шлакопемзобетона в предварительно напряженных плитах покрытия 3×6 м. «Строительные материалы и конструкции» (на укр. яз.), 1968, № 4.

ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ НА ДОМЕННЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ШЛАКАХ

Одной из задач металлургов и строителей является решение проблемы переработки и использования отходов предприятий черной металлургии, представляющих собой огромные сырьевые ресурсы для производства эффективных строительных материалов (шлаковой пемзы, гранулированных шлаков и др.) [1, 2].

Сейчас в СССР ежегодно из 20 миллионов тонн гранулированного доменного шлака половина применяется в производстве обычных шлакопортландцемента и бесклнкерных низкомарочных цементов [3, 4], а другая половина используется при производстве строительных работ [5] взамен песка как заполнитель в бетонах и в качестве засыпки [6].

Гранулированные доменные шлаки в легких бетонах можно применять в сочетании с различными крупными пористыми заполнителями (вспученным перлитовым щебнем, щебнем из аглопорита, шлаковой пемзой, керамзитовым гравием, природными заполнителями). Эти бетоны и изделия на их основе изготавливают по технологии, применяемой для производства легких бетонов и легкобетонных изделий.

В лаборатории легких бетонов НИИЖБ* были проведены исследования бетонов на керамзитовом гравии и щебне из шлаковой пемзы, в которых для снижения их объемного веса в качестве легкого мелкого заполнителя использовались гранулированные шлаки трех металлургических заводов («Свободный сокол», Новолипецкого и Косогорского). Кроме того, применялись отсеянный гранулированный шлаковый песок Новотульского металлургического завода и Серовского металлургического комбината, находящегося на Урале.

Химический состав использованных в качестве мелких заполнителей гранулированных шлаков приведен в табл. 1. Эти шлаки содержат примерно одинаковое количество CaO , MgO , SiO_2 , Al_2O_3 и других основных ком-

* В работе принимал участие инженер бюро внедрения НИИЖБ Э. В. Долгих.

Химический состав гранулированных шлаков с размером зерен до 5 мм

Шлак завода	Химический состав в %											
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	S	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	C	FeO
«Свободный сокол»	34,81	0,49	11,08	41,34	7,07	1,2	1,23	0,36	0,5	0,3	0,68	—
Новолипецкого . .	40,15	0,35	7,85	41,88	8,23	0,42	0,5	0,37	—	—	—	—
Серовского	35,5— 38	—	13—14	40—45	3,5— 4,5	—	0,7— 0,9	0,4— 0,55	—	—	—	0,45— 0,7
Косогорского (зе- леный)	29,78	0,29	8,25	38,95	11,91	0,69	1,24	9,25	0,02	0,2	0,16	—
Косогорского (бе- лый)	34,34— 33,74	0,84— 1,26	10,81— 10,91	43,42— 43,9	7,09— 8,32				Не определялось			
Новотульского . .	36— 37	0,28— 0,42	8,63— 9,52	44,74— 45,39	6,77— 7,41	0,15	2,59	0,16	Не определялись			

поинтов. Несколько меньше SiO_2 содержал зеленый косогорский шлак гранулированный ($\sim 30\%$), а больше всего (40%) нововилицкий шлак. Для зеленого косогорского шлака характерно большее содержание MgO (до 12%) и MnO ($9,25\%$).

Объемный насыпной вес, прочность при сдавливании в цилиндре, водопоглощение и объем межзерновых пустот исследованных заполнителей определяли по ГОСТ 9758—61 «Заполнители пористые неорганические для легких бетонов. Методы испытаний».

Насыпные объемные веса гранулированных шлаков каждой фракции, применяемых взамен песка, приведены на рис. 1, из которого видно, что наибольший насыпной

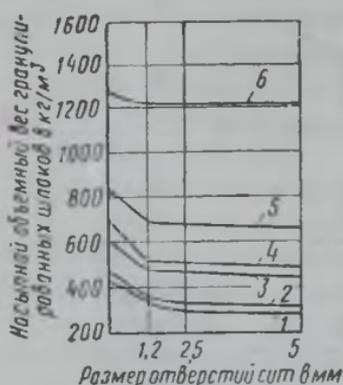


Рис. 1. Зависимость насыпного объемного веса гранулированных доменных шлаков от размера их фракций

1 — завода «Свободный сокол»; 2 — белый Косогорского завода; 3 — Нововилицкого завода; 4 — зеленый Косогорского завода; 5 — Новотульского завода; 6 — Серовского завода

вес был у шлака Серовского завода (около 1200 кг/м^3), а наименьший — у шлака завода «Свободный сокол» ($300\text{—}400 \text{ кг/м}^3$). Другие же шлаки по объемному весу занимают промежуточное положение.

Результаты определения основных свойств крупных заполнителей фракции $10\text{—}20 \text{ мм}$, примененных для изготовления бетонов, указаны в табл. 2. Керамзитовый гравий трех заводов имел примерно один насыпной вес (около 400 кг/м^3), полное водопоглощение (около 20%) и межзерновую пористость ($45\text{—}47\%$). Вместе с тем для каждого гравия показательна своя прочность при сжатии, которая колебалась от $10,7$ до 19 кг/см^2 . Для щебня из шлаковой пемзы Новотульского завода характерен небольшой насыпной объемный вес (420 кг/м^3), прочность при сжатии (4 кг/см^2) и, кроме того, большее водопоглощение ($29,5\%$).

Эти особенности заполнителей были учтены при экс-

Объемный вес, прочность, водопоглощение и межзерновая пустотность крупных заполнителей с размером зерен 10—20 мм

Заполнитель	Насыпной объемный вес в кг/м ³	Прочность в цилиндре в кг/см ²	Водопог- лощение через 48 ч по объему в %	Межзер- новая пуст- тотность в %
Керамзит:				
Серпуховского завода .	400	10,7	20,5	45
Донского завода . . .	415	17,7	20,5	47
Алексинского завода .	420	19	21	47
Шлаковая пемза:				
Новотульского завода .	420	4	29,5	52
Новолипецкого завода .	800	12	11,5	51,5
Щебень из порфирита	1620	48,5	2,7	48

периментальном подборе составов легких бетонов, данные о которых приведены в табл. 3.

Результаты подбора составов показывают, что наилучшие показатели по объемному весу и прочности имеет легкий бетон, приготовленный на керамзите и гранулированном шлаке белого цвета Косогорского завода. Этот бетон при объемном весе в сухом состоянии 1000 кг/м³ и расходе цемента 200 кг/м³ имеет марку 50.

На шлаковой пемзе Новотульского завода и гранулированном шлаке зеленого цвета Косогорского завода, а также на керамзитах Донского и Алексинского заводов и шлаке Новотульского завода можно получить бетон прочностью 50 кг/см² при объемном весе около 1100 кг/м³.

На шлаковой пемзе и шлаке Новотульского завода марка 50 получается при объемном весе бетона 1300 кг/м³.

При объемном насыпном весе шлаковой пемзы фракции 10—20 мм 750—850 кг/м³ на легких липецких гранулированных шлаках получают конструктивно-теплоизоляционные бетоны плотного строения марок 35—75 с объемным весом в сухом состоянии 1300—1500 кг/м³.

На липецкой шлаковой пемзе и тяжелых гранулированных шлаках получается конструктивный бетон марки 200 с объемным весом 1800 кг/м³.

Нами были также подобраны составы бетона марки 300 и выше, причем в качестве заполнителя применялся

Оптимальные составы, вес и прочность керамзитобетонов и шлакопемзобетонов на песках из гранулированных доменных шлаков

Бетон	Заполнители		Марка бетона по прочности при сжатии в кг/см ²	Объемный вес бетона в сухом состоянии в кг/м ³	Расход материалов на 1 м ³ бетона			
	крупный	мелкий (гранулированный шлак) в виде песка			цемента марки 500 (по ГОСТ 310—41) в кг	крупного заполнителя в м ³	мелкого заполнителя в м ³	воды в л
Керамзитобетон	Донской керамзитовый гравий	Косогорский (белый)	50	1000	200	1,05	0,9	260
	То же	Новотульский	50	1100	190	0,9	0,6	210
	Серпуховский керамзитовый гравий	Косогорский (белый)	50	1000	220	0,86	0,74	280
	То же	Косогорский (зеленый)	50	1000	250	0,84	0,76	185
	Алексинский керамзитовый гравий	Новотульский	50	1100	200	0,83	0,72	215
Шлакопемзобетон	Щебень из новотульской пемзы	Косогорский	50	1050	245	0,78	0,68	235

Бетон	Заполнители		Марка бетона по прочности при сжатии в кг/см ²	Объемный вес бетона в сухом состоянии в кг/м ³	Расход материалов на 1 м ³ бетона			
	крупный	мелкий (гранулированный шлак) в виде песка			цемента марки 500 (по ГОСТ 310—41) в кг	крупного заполнителя в м ³	мелкого заполнителя в м ³	воды в л
	Щебень новотульской пемзы	Новотульский	50	1300	260	0,9	0,785	240
	То же	Завода «Свободный сокол»	50	1400	350*	0,76	0,93	320
		Новолипецкий	200	1800	520*	0,74	0,62	280
Бетон на гранулированном шлаковом песке	—	Серовский	300	2000	450**	—	1,3	200
Бетон на щебне из порфирита	Щебень, порфирит серовский	Серовский	500	2300	500*	0,8	0,7	170

* Цемент марки 400.

** Цемент марки 600.

гранулированный шлак Серовского металлургического комбината.

Поскольку в гранулированном доменном шлаке Серовского завода отсутствуют крупные фракции, то в нашу задачу входил подбор бетонов марки 300 на одном гранулированном шлаковом песке. Одновременно изучалась возможность получения легких бетонов марки до 500 на щебне из порфирита и гранулированном шлаковом песке Серовского металлургического комбината. Испытания контрольных бетонных кубов показали, что при одинаковых расходах цемента бетон на одном гранулированном шлаковом песке содержит 70% по объему фракции размером менее 2,5 мм и имеет большую прочность, чем бетон, содержащий 60% таких фракций. Прочность бетона на крупных и мелких заполнителях (щебне из порфирита и гранулированного шлака) примерно на 40% выше прочности бетона на одном гранулированном шлаковом песке, но зато такой бетон имеет большой объемный вес.

Подобранные составы на песках из гранулированных шлаков были использованы при изготовлении образцов, предназначенных для определения свойств этих бетонов.

Прочностные и деформативные свойства бетонов определяли по методике, подробно описанной в сборнике НИИЖБ «Методы испытания пористых заполнителей, легкобетонных смесей и легких бетонов на пористых заполнителях», изданном в 1967 г. [7].

Призмную прочность и модуль упругости при сжатии определяли на образцах размером $15 \times 15 \times 60$ см, прочность при растяжении — на образцах $10 \times 10 \times 40$ см.

Характеристики бетона на серовском гранулированном шлаке определяли на образцах, приготовленных без крупных заполнителей на одном гранулированном песке.

Результаты определения начального модуля упругости бетона при сжатии на гранулированных шлаковых песках показали, что он во всех случаях оказался выше значений, приведенных в СНиП II-A.10-62. При этом отношение призмной прочности при сжатии к кубиковой было выше 0,7.

Прочность при осевом растяжении определялась для бетона марки 250, приготовленного на серовском

гранулированном шлаке, и она оказалась равной 16 кг/см^2 , что на 11% ниже значений, приведенных в СНиП II-A.10-62.

Величина предельной сжимаемости такого бетона колебалась от 0,88 до 1,2 мм/м; величина сцепления арматуры с бетоном, полученная при выдергивании стержней периодического профиля $d=16 \text{ мм}$ класса А-III из бетонных призм размером $10 \times 10 \times 30 \text{ см}$, составила 30 кг/см^2 , что соответствует легким бетонам на других заполнителях.

Определение ползучести и усадки легкого бетона на гранулированных шлаках в возрасте одного года показало следующее: усадка керамзитобетона марки 75 на алексинском керамзите и гранулированном шлаке зеленого цвета Косогорского завода составила 0,33 мм/м, а ползучесть такого бетона при обжати, равном 0,4 разрушающей нагрузке, — 1,67 мм/м; усадка шлакопемзобетона марки 100 на тульской шлаковой пемзе и гранулированном шлаке Новотульского завода получилась равной 0,33 мм/м, а ползучесть при обжати 0,6 разрушающей нагрузке — 1,5 мм/м.

Для бетонов, применяемых в ограждающих конструкциях, важными характеристиками являются их морозостойкость и теплопроводность. Морозостойкость бетона определяли по ГОСТ 7025—67 на образцах размером $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$; результаты этих испытаний приведены в табл. 4.

Коэффициент морозостойкости бетонов на гранулированных шлаках после 25 циклов замораживания получился больше 0,75, за исключением одного состава на косогорском шлаке (зеленом). При этом потеря в весе образцов не было. Бетон на гранулированном шлаке Серовского завода выдержал 50 циклов испытаний на морозостойкость.

Для определения коэффициента теплопроводности бетонов применялся прибор Бокка фирмы «Карл Вейс».

Для керамзито- и шлакопемзобетонов на гранулированных шлаках, как это видно на рис. 2, во всех случаях он оказался значительно ниже величин, указанных в СНиП II-A.7-62.

Сохранность арматуры в бетоне проверяли на образцах-призмах размером $7 \times 7 \times 14 \text{ см}$ с заложенными в них шлифованными стальными стержнями. Образцы были изготовлены из легких бетонов на алексинском ке-

Морозостойкость легких бетонов на гранулированных шлаках

Бетон	Гранулированный шлак	Расход материалов на 1 м ³ бетона					Объемный вес бетона в сухом состоянии в кг/м ³	Предел прочности при сжатии образцов размером 10×10×10 см в кг/см ²		Коэффициент морозостойкости после 25 циклов замораживания и оттаивания
		цемент марки 500 (по ГОСТ 310—41) в кг	керамзит в м ³	шлаковая пемза в м ³	гранулированный шлак в м ³	вода в л		после замораживания	контрольных образцов	
Керамзитобетон	Новотульский	195*	0,9	—	0,6	210	1100	47,2	57,5	0,82
	Косогорский (зеленый)	280*	0,85	—	0,78	235	1150	65	55,9	1
Шлакопемзобетон	Завода «Свободный сокол»	370	—	0,93	1,13	400	1350	63,3	58,9	1
	Новотульский	240*	—	0,85	0,73	230	1250	118	114	1
	Косогорский (зеленый)	245*	—	0,8	0,7	235	1050	39,9	54,5	0,73
Бетон на гранулированном шлаке	Серовский	450	—	—	1,3	210	2000	284	244	1**

* Цемент марки 600.

** После 50 циклов.

рамзите, шлаковой пемзе Новотульского завода и гранулированном шлаковом песке Новотульского и Косогорского заводов.

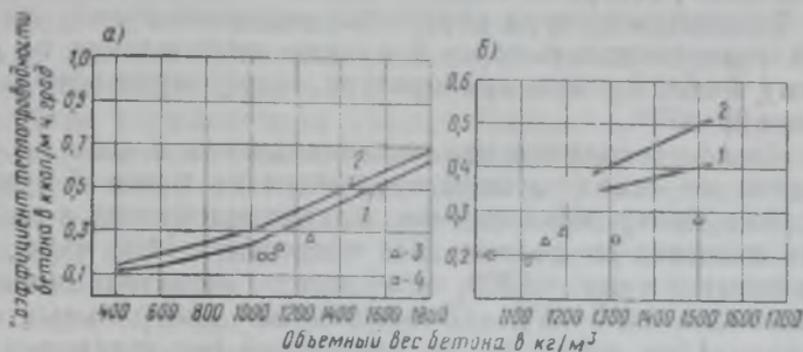


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности легких бетонов на гранулированных шлаковых песках от объемного веса бетона

a — керамзитобетон; *b* — шлакопемзобетон; данные по СНиП для керамзитобетона: 1 — при условиях эксплуатации «А»; 2 — при условиях эксплуатации «Б»; экспериментальные данные: 3 — в сухом состоянии; 4 — с влажностью 4–10%

Образцы хранились 2,5 года в помещении с относительной влажностью воздуха, равной 90%. При этом пространство между крупными заполнителями в бетонах полностью заполнялось раствором, но сам он был неплотным из-за недостатка пылеватых фракций в шлаках.

Полученные результаты показывают, что в тех местах, где растворная часть бетона была неплотной, арматура подвергалась коррозии.

В Туле был построен опытный односекционный двухэтажный жилой дом* серии I-335, где толщина однослойных наружных стеновых панелей была равна 35 см.

Панели для первого этажа дома изготовлялись из бетона на шлаковой пемзе Новотульского завода и шлакопемзовом песке, смешанном с гранулированным шлаком (30% шлакопемзового песка и 70% гранулированного шлака), а для второго этажа — из керамзитового гравия Донского завода и гранулированного шлака Новотульского завода.

Бетон для опытных панелей получали в производственных условиях на бетоносмесителе принудительного

* Работа проводилась совместно с комбинатом Углеметаллургстрой г. Тулы под руководством гл. инженера Л. Б. Глика.

перемешивания емкостью 1000 л; формирование изделий осуществлялось без пригруза; на поверхность панелей наносили фактурный слой.

Тепловлажностная обработка отформованных панелей осуществлялась через 5 ч после изготовления по режиму 4+6+2 ч при температуре изотермического прогрева 85—90°C.

После распалубки изделия находились в цехе до отправки на склад готовой продукции не менее 7 суток.

По проекту объемный вес шлакопемзобетона в опытных изделиях не должен был превышать 1400 кг/м³, а керамзитобетона — 1300 кг/м³ при эксплуатационной влажности их 5—8%. Взвешивание контрольных образцов-кубов показало, что объемный вес шлакопемзобетона в сухом состоянии составлял 1285—1360 кг/м³, а керамзитобетона с гранулированным шлаком 1000—1150 кг/м³.

Фактический вес панелей во всех случаях был ниже максимально допускаемого веса, установленного с учетом величины эксплуатационной влажности бетона в изделиях, равной 5%.

Как показывает технико-экономический анализ, при применении конструкций из легких бетонов на местных гранулированных шлаках стоимость строительства жилых, общественных и промышленных зданий должна значительно снизиться.

Сейчас среди искусственных пористых заполнителей самым дешевым является шлаковая пемза. Несмотря на то, что действующие в настоящее время в СССР установки по производству шлаковой пемзы часто загружены не полностью, но и в этих условиях себестоимость ее в 1,5—2 раза и более ниже, чем себестоимость керамзитового гравия.

Себестоимость новолипецкой пемзы с учетом ее сепарации по объемному весу при работе промышленного бассейна производительностью 100 000 м³ пемзы в год составит 2 р. 12 к. за 1 м³*.

Отпускная цена легкого гранулированного шлака завода «Свободный сокол» равна 1 р. 05 к. за 1 т. Отпускная цена гранулированных шлаков Новолипецкого металлургического завода 1 р. 07 к. за 1 т. Таким образом, можно считать, что в среднем стоимость гранулированных шлаков в Липецке составляет около 1 руб.

* Здесь и далее стоимость заполнителей указана в ценах 1968 г.

за 1 м³ (франко-завод-изготовитель), а это в два раза дешевле стоимости местной шлаковой пемзы. Шлаковая пемза Новотульского завода стоит 1 р. 25 к. за 1 м³, но производство ее не налажено. Поэтому в настоящее время ряд заводов Тульской области по производству керамзитобетонных изделий и конструкций работает на привозном керамзитовом гравии Донского и Алексинского керамзитовых заводов, отпускная цена которого составляет 6 руб. за 1 м³. Поскольку для приготовления керамзитобетона необходим мелкий заполнитель-песок, то заводы вынуждены этот керамзит дробить на песок, стоимость которого достигает 11 руб/м³, что в конечном счете ведет к повышению себестоимости выпускаемой продукции из керамзитобетона.

Для повышения рентабельности производства необходимо найти пути решения вопроса снижения себестоимости керамзитобетонных изделий: либо снизить стоимость заполнителя для легкого бетона, либо заменить дорогостоящий керамзитовый гравий или песок другим дешевым легким заполнителем.

Наиболее перспективным в решении этого вопроса является применение гранулированных доменных шлаков Косогорского завода, отпускная цена на которые составляет 40 коп. за 1 м³ и Новотульского завода стоимостью 1 р. 10 к. за 1 м³.

К этому надо добавить, что применение в бетонах песка из пористых доменных гранулированных шлаков позволяет уменьшить толщину панелей стен и покрытий зданий, размеры фундаментов, а также снизить количество потребляемых материалов, транспортные и монтажные расходы.

Бетоны на доменных гранулированных шлаках в сочетании с различными пористыми заполнителями уже сейчас эффективно применяются в строительстве ряда городов металлургических районов Урала и Украины, в частности, в опытном строительстве в Туле и Липецке.

Выводы

1. По своим строительным свойствам (теплопроводности, морозостойкости, прочности и деформативности) легкие бетоны на гранулированных доменных шлаковых песках отвечают требованиям, предъявляемым к легким бетонам ограждающих конструкций жилых, об-

ществленных и промышленных зданий с сухим и нормальным влажностным режимами.

Такие бетоны на тяжелых гранулированных шлаках могут быть использованы также в несущих конструкциях этих зданий.

2. Применяя в качестве крупного заполнителя шлаковую пемзу, а в качестве песка легкие гранулированные шлаки Новолипецкого завода или завода «Свободный сокол», можно получить легкие бетоны марок 35—75 с объемным весом в сухом состоянии 1200—1450 кг/м³, а с песком из тяжелого гранулированного шлака Новолипецкого завода — бетон марки 200 с объемным весом бетона менее 1800 кг/м³.

На шлаковой пемзе и гранулированном шлаке Новотульского завода можно получить бетон марки 50 с объемным весом 1400 кг/м³; на керамзите Донского завода, а также на алексинском керамзите в сочетании с гранулированным шлаком Новотульского завода можно приготовить бетон марки 50 с объемным весом в сухом состоянии около 1100 кг/м³; на таких керамзитах, а также на шлаковой пемзе Новотульского завода в сочетании с гранулированными шлаками Косогорского завода представляется возможность изготовить бетон марки 50 с объемным весом 1100 кг/м³.

На щебне из порфирита в сочетании с тяжелым гранулированным шлаком Серовского завода можно получить бетон марки 500 с объемным весом 2300 кг/м³, а на одном серовском гранулированном шлаке — бетон марки 300 с объемным весом 2000 кг/м³.

3. Для изготовления легких бетонов на гранулированных шлаках и изделий из них можно использовать оборудование и технологические приемы, применяемые для получения других видов легких бетонов.

4. Учитывая положительные результаты проведенных исследований, целесообразно увеличить производство легких гранулированных доменных шлаков на заводах Липецка и Тулы, где уже имеются высокопроизводительные установки, изготовляющие качественные доменные гранулированные шлаки, пригодные для легких бетонов.

Так как гранулированные шлаки значительно дешевле других пористых заполнителей, то их целесообразно использовать не только в Липецкой и Тульской, но и в прилегающих к ним областях, что позволит сни-

зить стоимость ограждающих конструкций жилых, общественных и промышленных зданий в этих районах.

На Урале, где имеются качественные тяжелые гранулированные шлаки, их можно применять для получения высокопрочных конструктивных бетонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Металлургические шлаки в строительстве.* Госстройиздат УССР, Киев, 1964.
2. *Вопросы шлакопереработки. Доклады на конференции по шлакопереработке.* Челябинск, 1960.
3. Будников П. П., Значко-Яворский И. Л. *Гранулированные доменные шлаки и шлаковые цементы.* Промстройиздат, 1953.
4. Волженский А. В., Буров Ю. С., Виноградов Б. Н., Гладких К. В. *Бетоны и изделия на шлаковых и зольных материалах.* Стройиздат, 1969.
5. *Шлаки в строительстве. Труды координационного совещания по переработке и использованию металлургических шлаков в строительстве.* Харьков, 1962.
6. *Шлаковые заполнители и бетоны на их основе.* Сб. трудов. Харьков, 1958.
7. Бужевич Г. А., Корнев Н. А., Евдокимов А. А., Кузнецова Н. Н., Макеева Л. А. *Методика исследования основных прочностей и деформативных свойств легких бетонов при кратковременном и длительном нагружении.* В сб.: «Методы испытания пористых заполнителей легкобетонных смесей и легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1967.

*Канд. техн. наук Г. А. БУЖЕВИЧ,
инж. Л. А. МАКЕЕВА*

ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ НА ВСПЕНЕННЫХ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Наибольшее применение для производства теплоизоляционных материалов за последнее время получил полистирол [1]. В строительстве он используется для утепления кровель и стен, для звукоизоляции междуэтажных перекрытий и т. д. [2, 3]. Полистирол — хороший теплоизоляционный материал, но недостаток его в том, что он неогнестоек и, будучи органическим веществом, со временем разрушается. Вот почему в целях повышения его стойкости целесообразно вспененные гранулы полистирола использовать в качестве крупного или

мелкого заполнителя для легких бетонов, изготавливаемых на цементном вяжущем.

Для этого полистирол предварительно вспенивают. Существуют два способа. Первый заключается в предварительном вспенивании мелких зерен (бисера) полистирола в горячей воде при температуре, близкой к 100°C , а второй — в предварительном их вспенивании паром. Последним способом был получен вспененный полистирол в ФРГ уже более 10 лет назад [4, 5, 6]. Лабораторная установка для вспенивания полистирола состоит из резервуара для вспенивания полистирола, который плотно закрывается крышкой; паропроводящего трубопровода; перемешивающего устройства, расположенного внутри резервуара; трубы для отвода пара. Через смотровое окно установки можно следить за процессом вспенивания и фиксировать момент получения необходимого объема вспененного полистирола. Установка позволяет регулировать процесс вспенивания, что дает возможность получать однородный по объемному весу заполнитель.

Для проведения исследований применялся полистирол суспензионный для вспенивания (ПС-Б) Кусковско-

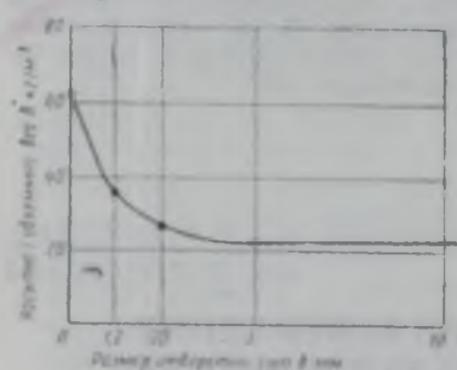


Рис. 1. Зависимость насыпного объемного веса вспененного полистирола от размера зерен

го химического завода. Вспенивание полистирола осуществлялось в лабораторной установке паром в течение 2 мин. Перед вспениванием полистирол рассевали на три фракции: менее 1,2 мм; 1,2—2,5 мм и более 2,5 мм.

При вспенивании полистирол увеличивается в объеме приблизительно в 15—20 раз. Насыпной объемный вес вспененного полистирола указан на рис. 1.

Гранулы вспененного полистирола размером 10—20 мм и 5—10 мм имеют прочность при испытании в цилиндре порядка 1 кг/см^2 (по ГОСТ 9858—61).

При этом для них характерно то, что они при испытании не разрушаются, а только сжимаются и после испытания принимают первоначальную шарообразную форму.

Вспененный полистирол обладает очень малым водопоглощением (порядка 2% по объему за 48 ч). Кинетика водопоглощения вспененного полистирола приведена на рис. 2.

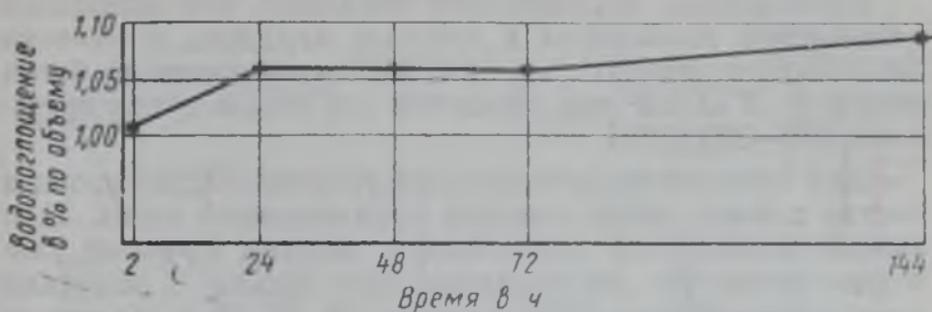


Рис. 2. Водопоглощение вспененного полистирола

Характеристики керамзитового гравия и песка, примененных в наших опытах в сочетании с полистирольным заполнителем, даны в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика керамзита

Заполнитель	Насыпной объемный вес в кг/м ³	Прочность при сжатии в цилиндре $d=120$ мм в кг/см ²	Водопоглощение по объему через 48 ч в %	Объем межзерновых пустот в %
Керамзитовый гравий, фракции 10—20 мм . .	600	35	12	45
Керамзитовый песок	650	—	—	—

Подбор состава легких бетонов осуществлялся нами экспериментальным путем. Для подбора состава теплоизоляционного легкого бетона использовали вспененный полистирол в качестве крупного и мелкого заполнителя. В отдельных случаях мелким заполнителем служил керамзитовый песок.

Жесткость бетонных смесей была в пределах 20—30 сек. Бетонную смесь перемешивали в растворосмесителе в течение 4 мин. Затем образцы из нее уплотняли на

лабораторной виброплощадке в течение 20 сек с пригрузом 25 Г/см^2 . Тепловая обработка осуществлялась в пропарочной камере при температуре 65°C по режиму $2+6+2 \text{ ч}$.

Проведенные исследования показали, что, используя вспененный полистирол в качестве крупного и мелкого заполнителя, можно получить теплоизоляционный бетон марки $2-3 \text{ кг/см}^2$ при объемном его весе в сухом состоянии $250-300 \text{ кг/м}^3$.

Для повышения прочности растворной части бетона в состав данной смеси вводили керамзитовый песок. При замене вспененного полистирола мелких фракций размером менее $2,5 \text{ мм}$ керамзитовым песком получали теплоизоляционные бетоны марок 10, 15, 25 с объемным весом в сухом состоянии соответственно 500, 600 и 650 кг/м^3 .

Вспененный полистирол можно использовать в качестве мелкого заполнителя в легких бетонах для снижения его объемного веса. Так, при замене части керамзитового песка вспененным полистиролом можно снизить объемный вес керамзитобетона марок 25—35 на $100-200 \text{ кг}$.

Влажность легких бетонов на вспененном полистироле после пропаривания составляет $10-20\%$ по весу, но в течение месяца хранения образцов в воздушно-сухих условиях она уменьшается в два раза.

Составы, объемный вес и прочность при сжатии легких бетонов на вспененном полистироле приведены в табл. 2, а внешний вид образцов-кубов из бетона марки 10 показан на рис. 3.

Прочность при сжатии пропаренного легкого бетона на вспененном полистироле при твердении в камере нормального хранения к 28 суткам увеличивается на $20-25\%$.

При исследовании уточнялись отдельные параметры приготовления и уплотнения бетонных смесей на полистирольных заполнителях.

Порядок загрузки составляющих бетона в смеситель и оптимальное время перемешивания бетонной смеси определялись экспериментальным путем.

Проведенные исследования не выявили значительного влияния последовательности загрузки составляющих бетонной смеси на прочность бетона при сжатии.

Состав, объемный вес и прочность при сжатии легких бетонов на вспененном полистироле

Расход материалов на 1 м ³ уплотненного бетона						Объемный вес бетона в сухом состоянии в кг/м ³	Предел прочности при сжатии пропаренных образцов размером 15×15×15 см через 28 суток* в кг/см ²
цементы марки 500 в кг	вспененного полистирола в м ³ с размером зерен		керамзита в м ³ с размером зерен		воды в л		
	5—10 мм	до 5 мм	5—20 мм	до 5 мм			
180	0,45	0,85	—	—	90	250	2
240	0,45	0,8	—	—	100	300	3
270	0,65	0,4	—	0,3	180	500	10
270	0,75	0,3	—	0,4	220	600	15
340	0,7	0,3	—	0,4	230	650	25
220	—	0,3	0,7	0,3	190	850	35

* Образцы после пропаривания находились в камере нормального хранения.

Поэтому в дальнейшем все компоненты одновременно загружались в смеситель.

Оптимальная продолжительность перемешивания бетонной смеси с вспененным полистиролом составляла 5 мин, а оптимальная продолжительность вибрации при формировании составляла 30 сек.

В данном случае применялась виброплощадка с 3000 кол/мин при амплитуде колебаний 0,35 мм.

Бетонные смеси на вспененном полистироле хорошо уплотняются при вибрировании и без пригруза. Однако уплотнение бетонной смеси с пригрузом, равным 25 Г/см², способствует повышению прочности таких бетонов до 40%.

Проведенные исследования показали, что легкие бетоны на вспененном полистироле необходимо выдерживать перед пропариванием не менее 4 ч, а пропаривание осуществлять при температуре не выше 70°C. Пропаривание таких бетонов при температуре свыше 75°C снижает прочность бетона на 30—40%, и, кроме того, на поверхности образцов происходит повторное вспучивание полистирола. При более высокой температуре 80—85°C можно пропаривать многослойные конструк-

ции, в которых бетон из вспененного полистирола находился во внутреннем слое.



Рис. 3. Внешний вид образцов из легкого бетона марки 10 на вспененном полистироле

Таким образом, технология приготовления легких бетонов на вспененном полистироле принципиально не отличается от технологии приготовления других видов легких бетонов. Для нее характерна только пониженная температура изотермического прогрева.

При назначении толщины утеплителя большое значение имеет величина коэффициента теплопроводности. Коэффициент теплопроводности легких бетонов на вспененном полистироле определялся нами на образцах размером $25 \times 25 \times 5$ см на приборе доктора Бокка фирмы «Карл Вейс». Образцы испытывали в сухом состоянии

и при весовой влажности 5—8 и 11—12%. Зависимость теплопроводности легких бетонов на вспененном полистироле от его объемного веса показана на рис. 4. Экспериментальные значения коэффициентов теплопроводности

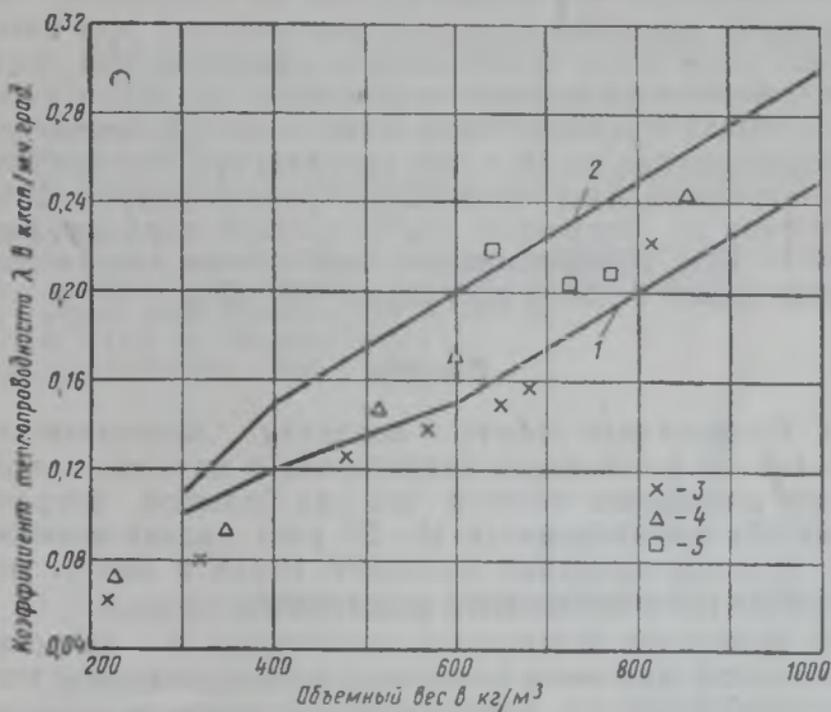


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности легких бетонов на вспененном полистироле от объемного веса

данные по СНиП для керамзитобетона: 1 — при условиях эксплуатации «А»; 2 — при условиях эксплуатации «Б»; экспериментальные данные: 3 — сухие образцы; 4 — при влажности 5—8%; 5 — при влажности 11—12%

сти легких бетонов на вспененном полистироле не превышают коэффициентов теплопроводности, приведенных для легких бетонов в СНиП II-A.7-62.

В образцах, которые после пропаривания подвергались высушиванию при температуре 105—110°C, вспененный полистирол выгорел только на поверхности. Следовательно, цементный камень повышает стойкость вспененного полистирола к воздействию повышенной температуры.

Коэффициент морозостойкости определяли на образцах размером 10×10×10 см в возрасте 28 суток после хранения их в камере нормального режима. Результаты испытаний показали, что легкие бетоны на вспенен-

ном полистироле выдерживают 25 циклов замораживания и оттаивания. При этом коэффициент морозостойкости находится в пределах 0,8—1,0.

Установлено, что легкие бетоны на вспененном полистироле (крупный и мелкий заполнитель) при насыщении водой могут терять до 45% прочности при сжатии, а бетоны на крупном заполнителе из вспененного полистирола и керамзитовом песке — до 25% прочности. Водопоглощение за 48 ч при капиллярном подсосе легких бетонов на вспененном полистироле составляет 25%, а бетонов на вспененном полистироле и керамзитовом песке — 35%. Водопоглощение при полном погружении в воду таких бетонов составляет 30—40%.

Выводы

1. Прделанная работа показала экономичность применения вспененного полистирола в качестве заполнителя для легких бетонов, так как большой коэффициент его вспенивания (в 15—20 раз) делает возможным транспортирование исходного сырья к месту потребления даже на большие расстояния.

2. Используя вспененный полистирол в качестве заполнителя для легких бетонов, можно получать теплоизоляционные и конструктивно-теплоизоляционные бетоны марок 2—35 с объемным весом в сухом состоянии 200—850 кг/м³.

3. Для приготовления и формирования легких бетонов на вспененном полистироле пригодно оборудование, обычно применяемое на заводах легкобетонных изделий.

4. Тепловую обработку легких бетонов на вспененном полистироле необходимо вести при температуре не выше 70°C.

5. Коэффициент теплопроводности легких бетонов на вспененном полистироле не превышает значений, приведенных в СНиП II-A.7-62 «Строительная теплотехника. Нормы проектирования».

6. Коэффициент морозостойкости легких конструктивно-теплоизоляционных бетонов на вспененном полистироле после 25 циклов замораживания и оттаивания составляет 0,8—1.

7. Легкие бетоны на вспененных полистирольных заполнителях можно применять при изготовлении многослойных конструкций стеновых панелей, а также для

утепления пустотелых настилов, плит покрытий арочного типа, сводов, куполов, оболочек и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев В. А. Производство и применение пластмасс в строительстве. Стройиздат 1965.
2. Зехтлинг Г. Пластмассы в строительстве. Различные виды полимерных материалов и их применение. Пер. с нем. Госстройиздат, 1959.
3. Гдалин И. С. Пластмассы в строительстве. «Знание», 1960.
4. Frautveier R. Polystyrol als Leichtzuschlagstoff «Baustoffindustrie No 10», 1961
5. Kohling. Die Herstellung von Leichtbeton unter Verwendung von vorexpandierten Styropor-Partikeln als Zuschlagstoff. «Beton Stein-Zeitung», Heft 5, 1960 г.
6. Elck H., Styropor-Beton. «Zement-Kalk-Gips», Heft 6/1959.

Кандидаты техн. наук

Г. А. БУЖЕВИЧ, А. С. ЩЕРБАКОВ

АРБОЛИТ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

Арболит представляет собой разновидность легкого бетона, в состав которого входит не минеральный пористый заполнитель, а органический, обработанный минерализатором.

За последнее время этот бетон находит все большее распространение при сооружении зданий различного назначения. Однако повсеместному его применению препятствуют сравнительно низкие прочностные показатели. Для того чтобы расширить сферу использования этого материала, следует значительно повысить его прочность. Этому вопросу посвятил свои работы целый ряд отечественных и зарубежных исследователей [1].

В работах НИИЖБ, ВНИИНСМ [2, 3] изучалось влияние на прочность арболита вида и марки цемента, включений древесных лиственных пород в состав заполнителя, его гранулометрии, добавки кварцевого песка в арболитовую смесь, а также режимов уплотнения и условий твердения изделий.

Было установлено, что прочность арболита можно существенно повысить за счет применения высокоактивных особо быстротвердеющих цементов марок 600—800,

а также путем добавления в арболитовую смесь кварцевого песка в количестве до 40% от веса цемента. Можно также увеличить прочность, повышая удельное давление прессования арболитовой смеси и т. п. Однако эти способы повышения прочности не всегда эффективны и осуществимы. К примеру, особо быстротвердеющие цементы дефицитны и выпускаются они в недостаточном количестве. Введение же в арболитовую смесь кварцевого песка и увеличение удельного давления прессования значительно повышает объемный вес арболита.

В наших исследованиях по повышению прочности арболита мы избрали в основном путь воздействия на древесный наполнитель физическими или химическими способами. Кроме того, мы стремились создать на его поверхности минеральные пленки, с тем чтобы локализовать водорастворимые вещества древесины, отрицательно влияющие на процессы гидратации и твердения цемента. Это достигалось:

двухстадийной обработкой древесного наполнителя цементом;

обработкой древесного наполнителя пленкообразующими веществами;

пропиткой древесного наполнителя различными химическими растворами;

экстрагированием древесного наполнителя горячей водой;

применением тампонажного цемента;

введением в арболитовую смесь легких пористых песков и гранулированных доменных шлаков.

Основные опыты были проведены нами на портландцементе марки 400 Белгородского завода. В качестве органического наполнителя применялась дробленка хвойных пород древесины.

Для минерализации древесного наполнителя и ускорения процесса твердения арболита использовались различные химические добавки, в том числе новые, до сих пор в производстве арболита не применявшиеся. Для приготовления раствора и арболитовой смеси применяли питьевую воду, удовлетворяющую ГОСТ 2874—54.

Для выявления эффективности двухстадийной обработки наполнителя цементом изготавливали контрольные замесы по рекомендуемой МРТУ 21-5-64 технологии. Смесь готовилась с древесно-цементным отношением,

равным 0,6, расходом цемента 320 кг/м^3 , расходом воды в количестве 180% по отношению к весу сухой древесной дробленки и с расходом CaCl_2 2% от веса цемента. Условия формования и твердения контрольных образцов соответствовали требованиям МРТУ 21-5-64.

Эксперименты по двухстадийной обработке заполнителя цементом велись двумя способами. В первом случае древесный заполнитель обрабатывали горячим цементом, имевшим температуру 50, 100 и 200°C , при расходах цемента 5, 10, 15 и 30% веса дробленки. Через 5 мин после первого перемешивания органического заполнителя с горячим цементом в смесь вводили часть цемента с обычной температурой, с тем чтобы общий расход его на 1 м^3 арболита составлял 320 кг. После этого добавляли воду, подогретую до 80°C , и 2% от расхода цемента (считая на сухое вещество) хлористого кальция. Вторично смесь перемешивали в течение 3 мин. Затем из нее изготавливали контрольные образцы-кубы размером $15 \times 15 \times 15 \text{ см}$ по МРТУ 21-5-64 [4] для испытания на сжатие в 3-, 7-, 14- и 28-суточном возрасте.

При исследовании по другой методике обработанный в первый раз заполнитель перед вторичным смешиванием его с цементом выдерживали в течение трех и семи суток в помещении лаборатории и только после этого указанным выше способом приготавливали арболитовую смесь.

Для воздействия на древесный заполнитель пленкообразующими веществами с целью локализации вредного влияния водорастворимых веществ древесины на цемент применяли петролатум, жидкое натриевое стекло с хлористым кальцием или двухводный строительный гипс. Чтобы создать пленку на древесном заполнителе, его предварительно обрабатывали указанными веществами следующим образом. При использовании петролатума в сетчатый контейнер размером $80 \times 80 \times 80 \text{ см}$ засыпали заполнитель, затем контейнер погружали на 10 мин в ванну с кипящим петролатумом. По истечении этого времени древесную дробленку извлекали из ванны, и пропитанный петролатумом заполнитель высыпался в противень и разравнивался тонким слоем для охлаждения.

Во втором случае вначале готовился гель, состоящий из смеси жидкого натриевого стекла плотностью 1,12 и хлористого кальция плотностью 1,02 в весовых соотно-

шениях 1:5. Затем наполнитель обрабатывали приготовленным гелем, перемешивая его в растворешалке С-80 в течение 5 мин. Обработанный таким образом наполнитель высыпали в противень и высушивали.

При предварительной обработке древесного наполнителя двуводным гипсом эксперименты велись следующим образом. В растворешалке С-80 приготавливали гипсовую суспензию с соотношением 1:10 (гипс:вода) по весу. В приготовленную суспензию засыпали древесный наполнитель и всю смесь перемешивали в течение 5 мин, после чего наполнитель также высыпали в противень и высушивали.

Во всех случаях из обработанного наполнителя изготавливали арболитовые образцы размером $15 \times 15 \times 15$ см по МРТУ с той лишь разницей, что воду добавляли не в количестве 180% по отношению к древесному наполнителю; содержание ее подбиралось опытным путем в зависимости от водопоглощения древесного наполнителя после его обработки.

Влияние обработки древесного наполнителя пленкообразующими веществами на прочность арболита оценивалось нами по прочности при сжатии арболитовых образцов в 3-, 7-, 14- и 28-суточном возрасте в сравнении с соответствующими показателями прочности контрольных образцов, изготовленных на дробленке без ее предварительной обработки.

При выборе химикатов для пропитки древесного наполнителя мы исходили, во-первых, из того, чтобы химические добавки способствовали бы быстрому схватыванию цемента и его твердению в ранние сроки. Эти условия необходимы для уменьшения неблагоприятного действия водорастворимых веществ древесины [5] и для сокращения времени их взаимодействия с цементом в период его твердения. Во-вторых, мы стремились к тому, чтобы химические добавки вступали в реакцию с водорастворимыми сахаристыми веществами древесины, с тем чтобы образовывать при этом малорастворимые сахара кальция, которые, по мнению многих исследователей, не влияют отрицательно на процессы гидратации и твердения цемента.

В своих исследованиях при выборе химических добавок мы пользовались в основном рекомендациями, приведенными в работах проф. Г. Н. Сиверцева [6]. Для изучения ускоряющего эффекта при твердении це-

мента в арболите были взяты соли, рекомендуемые рядом исследователей для ускорения твердения цемента в бетоне на минеральных заполнителях (в том числе хлориды, сульфаты, фосфаты, нитраты, сульфиты, поташ и сода). Одновременно мы использовали также комплексную химическую добавку, состоящую из $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{FeSO}_4 + \text{CaCl}_2$, взятых в весовом соотношении 3:1:1. По нашему мнению, эта добавка, включающая соли серной и соляной кислот, наряду с обезвреживанием сахаридов должна осаждать таниды (являющиеся сильными замедлителями твердения цемента) и ускорять гидратацию и твердение цемента в арболитовой массе.

Методика исследований на данной стадии работы заключалась в следующем. Расчетное количество древесного заполнителя загружали в растворомешалку и обрабатывали водным химическим раствором путем перемешивания в течение 5 мин. Каждую химическую добавку вводили в смесь из такого расчета, чтобы расход ее составлял 2% веса цемента в арболите в пересчете на сухое вещество. После обработки древесного заполнителя химическим раствором в растворомешалку засыпали цемент. Влияние указанных добавок на прочность арболита оценивалось нами по прочности при сжатии арболитовых образцов, изготовленных по описанной выше методике и испытанных в 3-, 7-, 14- и 28-суточном возрасте. Для сравнения и выявления эффективности исследуемых добавок изготавливали также контрольные замесы по существующей в настоящее время и рекомендуемой МРТУ технологии изготовления арболита.

Для изучения влияния гидротермообработки на прочность арболита были изготовлены арболитовые образцы с использованием в качестве заполнителя дробленки не из хвойных пород, а из отходов дубильно-экстрактовой промышленности в виде древесины дуба, прошедшей гидротермообработку путем кипячения под давлением в течение 15 ч в котлах-экстракторах. Как известно, обычная дробленка из дуба для приготовления арболита не применяется.

Арболитовые образцы из обработанной древесины дуба изготавливали по описанной выше методике, лишь с тем отличием, что воду затворения брали не в количестве 180% по отношению к весу сухой древесины, а подбирали расчетным путем [7]. О влиянии гидротермообработки древесного заполнителя на прочность арболита

при сжатии судили по результатам испытания образцов в определенном возрасте.

Повышения прочности арболита и снижения сроков его твердения мы достигали также, применяя другой вид вяжущего, не предусмотренный МРТУ 21-5-64, а именно, тампонажный цемент для «холодных» скважин. Выбор такого цемента был обусловлен тем, что для его затворения требуется много воды, он быстро схватывается и хорошо твердеет при пониженных положительных температурах. Эти факторы имеют существенное значение при производстве арболита, где мы имеем дело с большими водоцементными отношениями и отрицательным влиянием на прочность арболита условий твердения при повышенных температурах.

Ранее нами было установлено [5], что отрицательное влияние водорастворимых веществ древесины на цемент сказывается в большей степени при повышенных водоцементных отношениях. Если для обыкновенных портландцементов в арболитовой смеси при $V/C=1,1 \div 1,12$ количество воды является избыточным, то эти же условия для тампонажного цемента являются почти нормальными. Чтобы установить, как влияет тампонажный цемент для «холодных» скважин на прочность арболита, мы изготавливали контрольные арболитовые образцы по МРТУ 21-5-64, а затем испытывали их на прочность при сжатии через 3, 7, 14 и 28 суток. Полученные результаты сравнивали с данными испытаний контрольных образцов, изготовленных на той же дробленке с использованием в качестве вяжущего обыкновенного портландцемента марки 400 Белгородского завода.

В нашей работе исследовалась также возможность повышения прочности арболита за счет увеличения плотности структуры арболита путем введения в смесь легких пористых песков и гранулированного доменного шлака. Эти пески применялись для того, чтобы не увеличивался значительно объемный вес арболита и одновременно повысилась его прочность.

Для опытов был взят закарпатский перлитовый вспученный песок, саранский трепельный песок и косогорский гранулированный доменный шлак.

Пески вводили в арболитовую смесь в количестве 40% веса цемента. Об изменении прочности арболита с добавками песков судили по результатам испытания

опытных и контрольных образцов, не содержавших минерального мелкого заполнителя.

Изготавливали образцы с песком по описанной выше методике, с той лишь разницей, что загружались компоненты в несколько иной последовательности, а именно: древесная дробленка — раствор хлористого кальция — пористый песок — цемент.

Приступая к исследованию влияния двухстадийной обработки древесного заполнителя цементом на прочность арболита, мы исходили из предположения, которое сводилось к следующему. При первом перемешивании древесного заполнителя с горячим цементом частички вяжущего должны в какой-то мере подсушить заполнитель, окислить его и сделать химически пассивным по отношению к второй порции цемента. Кроме того, при соприкосновении горячего цемента с древесным заполнителем частички цемента должны адсорбироваться на поверхности древесины, гидратироваться и затвердевать, образуя вокруг зерен дробленки цементную корку. По этой причине при повторном перемешивании дробленки с основной массой цемента обработанный заполнитель будет выделять в арболитовую смесь уже меньше водорастворимых веществ, что эффективно должно сказаться на процессах схватывания и твердения второй порции цемента. Кроме того, вторая порция цемента будет соприкасаться уже с минерализованной поверхностью дробленки, и это обстоятельство также должно способствовать повышению прочности арболита без перерасхода цемента.

Результаты проведенных исследований графически представлены на рис. 1 и 2.

Анализируя полученные данные можно отметить следующее:

1. Двухстадийная обработка древесного заполнителя цементом существенно повышает прочность арболита. Прирост прочности при сжатии по сравнению с контрольными образцами составляет 38—50%.

2. Оптимальной дозировкой для первой обработки заполнителя является 15% цемента, нагретого до 200°C от общего его расхода.

3. Выдерживание заполнителя, обработанного горячим цементом, до приготовления смеси повышает прочность арболита в 28-суточном возрасте до 35% по сравнению с образцами, изготовленными без выдержки. При

этом существенной разницы в прочности арболитовых образцов, изготовленных на заполнителе, выдержанном в течение 3 и 7 суток, после обработки горячим цементом не наблюдалось.

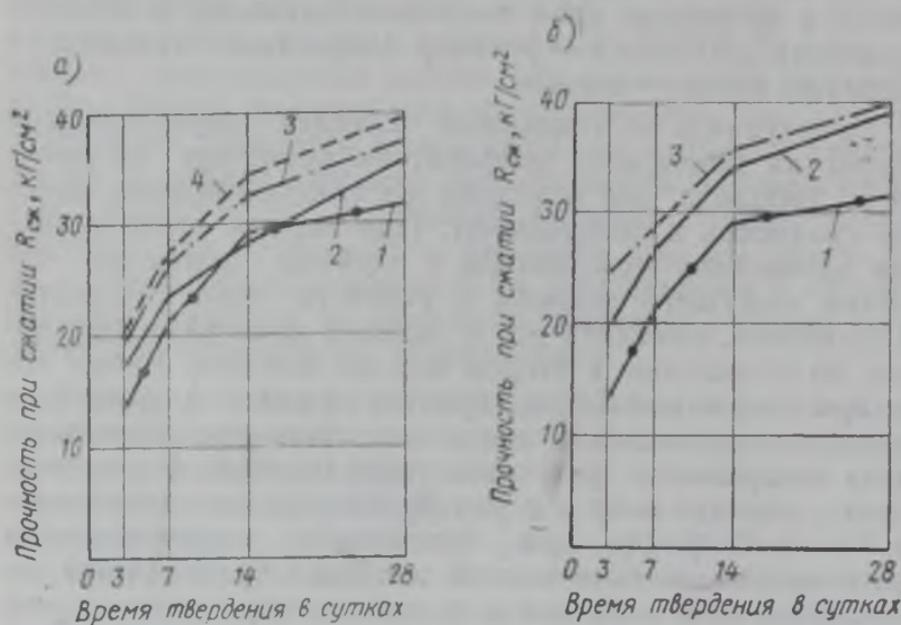


Рис. 1. Изменение прочности арболита в зависимости от режима предварительной обработки древесной дробленки горячим цементом

а — обработка древесной дробленки цементом, нагретым до 100°C: 1 — контрольная смесь без предварительной обработки древесного заполнителя горячим цементом; 2 — при расходе горячего цемента, составляющем 10% общего его расхода; 3 — то же, при расходе 15%; 4 — то же, 30%; б — обработка древесной дробленки цементом, нагретым до 200°C: 1 — контрольная смесь без предварительной обработки древесного заполнителя горячим цементом; 2 — при расходе горячего цемента, составляющем 15% общего его расхода; 3 — то же, при расходе 30% цемента

Результаты исследования влияния обработки древесного заполнителя пленкообразующими веществами на прочность арболита показали, что не все примененные материалы дали возможность повысить прочность арболита.

Так, обработка древесного заполнителя петролатумом ухудшает его сцепление с цементным камнем, и арболитовые образцы поэтому при распалубливании разрушались.

Никакого повышения прочности арболита, по сравнению с прочностью контрольных образцов, не наблюдается также и при предварительной обработке древесного заполнителя двуводным гипсом.

При обработке древесного заполнителя гелем, состоящим из жидкого натриевого стекла и хлористого кальция в указанных выше соотношениях, прочность арболитовых образцов, по сравнению с контрольными, повы-

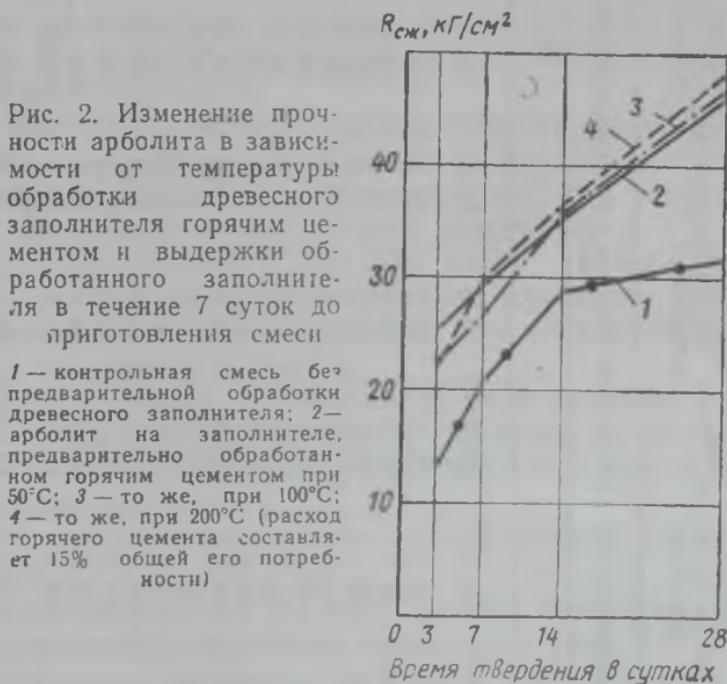


Рис. 2. Изменение прочности арболита в зависимости от температуры обработки древесного заполнителя горячим цементом и выдержки обработанного заполнителя в течение 7 суток до приготовления смеси

1 — контрольная смесь без предварительной обработки древесного заполнителя; 2 — арболит на заполнителе, предварительно обработанном горячим цементом при 50°C; 3 — то же, при 100°C; 4 — то же, при 200°C (расход горячего цемента составляет 15% общей его потребности)

шается при всех сроках твердения более чем на 50%. Однако следует учесть, что при такой обработке одновременно увеличивается объемный вес арболита примерно на 30% (780 против 600 кг/м³).

Результаты исследования влияния химических добавок на прочность и скорость твердения арболита приведены в табл. 1. Из этих данных видно, что повышение прочности арболита во все сроки испытания и ускорение его твердения вызываются комбинированной добавкой $\text{FeSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaCl}_2$, добавкой хлористого алюминия и сернистокислого натрия.

Комбинированная добавка дала прирост прочности на 28-е сутки, равный 40% прочности образцов контрольной смеси, изготовленной с применением CaCl_2 .

Следует отметить, что добавки солей фосфорной кислоты и азотнокислого аммония значительно улучшают удобоукладываемость смеси, хотя и не повышают прочности арболита. В этом случае может быть снижен и расход воды для приготовления арболитовой смеси, а следовательно, уменьшена и влажность изделий.

Таблица 1

Результаты испытания образцов из арболита с химическими добавками на прочность при сжатии (R_6)

Химическая добавка	R_6 в кг/см ²		Влажность в % при испытании		R_6 в кг/см ²		Влажность в % при испытании		Объемный вес сухого арболита в кг/см ³
	в 3-суточном возрасте		в 7-суточном возрасте		в 14-суточном возрасте		в 28-суточном возрасте		
	2	3	4	5	6	7	8	9	
$\text{FeSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaCl}_2$	19,5	38,7	24,8	33,2	28,2	20,6	43,4	22,9	634
CaCl_2 (контрольный состав)	13,08	43,7	21,2	30,2	28,6	28,2	31,8	22	650
NH_4NO_3	16,18	50,3	17,46	40,1	22,8	34,7	31,7	30,7	585
AlCl_3	16,1	36,3	23,2	38,1	30,4	28,4	37,8	24,3	655
Na_3PO_4	8,58	52,9	12,4	42,5	17,7	38,4	25,9	26,7	597
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	11,2	49,6	15	40,1	19,1	36,5	21,2	24,2	599
FeCl_3	6,7	80,1	12	44,6	16,7	41,2	22,5	29,2	583
Na_2SO_3	14,8	42,1	21,4	38,3	27,2	31,8	38,7	27,1	620
Na_2S	5,15	59,4	9,51	49,7	12,6	41,7	19,3	28,02	575
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	1,72	55	3,31	50	8,07	37,3	15,1	33,04	545
K_2CO_3	7,79	51,3	13,9	43,4	15,13	38	22,08	25,2	640
Na_2CO_3	6,06	53,6	11,5	44,5	14,5	40,6	18,9	29,03	594
$\text{FeSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$	8,67	52,7	16,2	47,6	22,8	32,6	31,4	29	595
MgCl_2	13,3	46,2	19,3	42,4	27,3	34,4	32,1	25	630
$\text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{CaSO}_4$	7,9	44,8	11,2	38,5	17,1	31,1	19,8	26,5	635
Жидкое стекло и хлористый кальций	29,35	53,2	38,6	40,5	54,42	38	68,21	23	786
Двуводный гипс	14,5	55,4	17,6	42,5	22,6	39	29,75	26,5	620

Сода, поташ, фосфорнокислый аммоний и хлористые соли при добавлении их в арболитовую смесь в указанном количестве (2% веса цемента) не улучшают прочностных показателей арболита, а в некоторых случаях даже снижают их. Поэтому такие добавки не могут быть рекомендованы как минерализаторы и ускорители твердения арболита.

При исследовании влияния гидротермической обработки древесного заполнителя на прочность арболита мы исходили из предположения, что при экстрагировании дробленки из дуба путем кипячения ее с водой в котлах-экстракторах большая часть водорастворимых веществ древесины, отрицательно влияющих на гидратацию цемента, будет удалена, что эффективно скажется на прочности арболита.

Для проверки правильности этой гипотезы нами были изготовлены арболитовые образцы из отходов дубильно-экстрактовой промышленности и испытаны в 28-суточном возрасте.

Результаты проведенных исследований представлены в табл. 2.

Анализируя эти данные, можно отметить, что гидротермическая обработка древесного заполнителя из дуба повышает прочность арболита. Как видно из данных табл. 2, прочность при сжатии арболита, приготовленного на дубовой дробленке, прошедшей гидротермическую обработку, при одинаковых составах арболитовой смеси не ниже прочности арболита, приготовленного на древесной дробленке хвойных пород древесины. При $\frac{B}{D} = 1,3$ прочность арболита на дубовой дробленке, прошедшей гидротермическую обработку, на 15% выше прочности арболита контрольных образцов, изготовленных с использованием дробленки из хвойных пород древесины. Если древесина дуба в свежесрубленном состоянии по пригодности для производства арболита находится на последнем месте [5], то после гидротермической обработки она занимает уже одно из первых мест.

Следовательно, эти нигде не используемые отходы во многих безлесных районах страны могут служить местными эффективными древесными заполнителями, позволяющими значительно снизить стоимость арболита (за счет исключения технологических операций по дробле-

нию древесины) и расширить сырьевую базу его производства.

Результаты исследований влияния на прочность арболита и на скорость его твердения тампонажного цемента для «холодных» скважин приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний арболитовых образцов на различных заполнителях и вяжущих

Материалы	Показатели прочности при сжатии и объемный вес арболита					
	в 3-суточном возрасте		в 14-суточном возрасте		в 28-суточном возрасте	
	прочность при сжатии в кг/см ²	объемный вес в кг/м ³	прочность при сжатии в кг/см ²	объемный вес в кг/м ³	прочность при сжатии в кг/см ²	объемный вес в кг/м ³
Контрольные образцы на портландцементе и дробленке хвойных пород	16	889	27	789	34	615
То же, с добавкой трепельного песка	23	900	34	800	42	620
То же, гранулированного шлака	13	865	24	771	31	610
То же, шлаковой пемзы	12	850	24	760	28	606
То же, шлаковой пемзы	11	812	20	780	26	605
Тампонажный цемент для «холодных» скважин и дробленка хвойных пород	28	815	36	784	49	609
Отходы дубильно-экстрактовой промышленности в качестве заполнителя и портландцемент	25	900	35	830	46	700

Использование в качестве вяжущего при производстве арболита такого цемента весьма эффективно сказывается на ускорении твердения арболита и повышении его прочности при сжатии и особенно в ранние сроки.

Возможность сокращения сроков твердения арболита в нормальных условиях (при температуре воздуха 16—20°C) и повышение его прочности за счет применения в качестве вяжущего тампонажного цемента для «холодных» скважин позволяет рекомендовать данный способ получения арболита, особенно в условиях Крайнего Севера и в районах добычи нефти.

Анализируя влияние на прочность арболита добавляемых к его смеси пористых песков (табл. 2), можно отметить, что в этом случае объемный вес арболита сохраняется неизменным и прочность при сжатии не повышается. Исключение составляет трепельный песок, введение которого в арболитовую смесь в количестве 40% веса цемента повышает прочность арболита на 25% по сравнению с прочностью материала, изготовленного по существующей технологии.

Отсутствие роста прочности арболита при введении в смесь пористых песков объясняется резким снижением удельного давления прессования при формовании образцов и вследствие этого снижением расхода цемента на 1 м³ изделий.

Выводы

1. Прочность арболита при сжатии можно существенно повысить (на 35—50%) при тех же расходах составляющих арболитовой смеси и при неизменном его объемном весе путем:

предварительной обработки древесного заполнителя горячим цементом, подогретым до 200°C и взятым в количестве 10—15% от общего его расхода;

предварительной обработки древесного заполнителя химическими растворами солей хлористого алюминия и сернокислого натрия в количестве не менее 2% веса цемента;

предварительной последовательной обработки древесного заполнителя химическими растворами сернокислой закиси железа и гидрата окиси кальция с последующим введением в арболитовую смесь раствора хлористого кальция;

гидротермической обработки древесного заполнителя, которая делает возможным применение при производстве арболита листовых пород древесины и отходов дубильно-экстрактовой промышленности;

применения в качестве вяжущего при производстве арболита тампонажного цемента для «холодных» скважин;

введения в арболитовую смесь легкого трепельного песка в количестве 40% веса цемента.

2. Прочность при сжатии арболита можно повысить на 50% за счет предварительной обработки древесного заполнителя пленкообразующим гелем, состоящим из

жидкого натриевого стекла плотностью 1,12 по ареометру и хлористого кальция плотностью 1,02 при их весовом соотношении 1:5. Однако при такой обработке объемный вес арболита повышается на 30%.

3. Перечисленные способы повышения прочности арболита в ряде случаев дают возможность одновременно сократить первоначальные сроки его твердения на 60—70%, с тем чтобы можно было такие арболитовые изделия распалубливать в суточном возрасте.

4. Ускорение твердения арболита в первоначальные его сроки позволяет существенно повысить производительность арболитовых заводов и сократить примерно в три раза парк металлических форм.

5. Для предлагаемых способов повышения прочности и ускорения твердения арболита не требуется особого оборудования. Исключение составляет лишь способ повышения прочности арболита за счет предварительной обработки древесного заполнителя горячим цементом, где требуется дополнительная установка для подогрева вяжущего. Способ же изготовления арболита из прошедших гидротермическую обработку отходов дубильно-экстрактовой промышленности упрощает технологический процесс, поскольку исключаются операции по двухстадийному дроблению древесины и ее минерализация.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арболит. Стройиздат, 1968.
2. Мещерякова И. П., Щербаков А. С. Повышение прочности арболита химическими добавками. «Лесозэксплуатация и лесное хозяйство», 1966, № 8.
3. Отливанчик А. Д., Маев Е. Д. Технология производства арболита. «Сельское хозяйство», 1964, № 9.
4. Межреспубликанские технические условия на арболит (МРТУ 21-5-64). Стройиздат, 1964.
5. Бужевич Г. А., Щербаков А. С. Влияние водорастворимых веществ древесины на процессы гидратации и твердения цемента. Сб. трудов МЛТИ, № 21, 1968.
6. Сиверцев Г. Н., Лапшина А. И., Никитина Л. В., Ухова Т. А. Экспериментальные данные для объяснения ускоряющего действия добавок на твердение цемента. РИЛЕМ, Стройиздат, 1964.
7. Бужевич Г. А., Бабкин В. И. и Щербаков А. С. Использование отходов дубильно-экстрактовой промышленности при производстве арболита. ВИНТИ легкой промышленности, 1967.
8. Dall D., Durisol Lightweight Precast Concrete Paper Trade, vol. 130, № 30, 1960.
9. Sander man W. Chemie und Technologie mineral gebundener Holzwerkstoffe, Holz-Zentrablatt, № 31, 1966.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Работы д-ра техн. наук проф. Б. Г. Скрамтаева в области легких бетонов	5
I раздел	
<i>Г. П. Курасова, Р. К. Житкевич, А. С. Истомина.</i> Высоко- прочный керамзитобетон марок 300—500	9
<i>Л. И. Карпикова, К. М. Кац.</i> Конструктивный керамзитобе- тон для строительства на севере	31
<i>Г. И. Горчаков, К. М. Кац.</i> Водонепроницаемый конструк- тивный керамзитобетон	44
<i>Г. А. Бужевич, И. С. Хаймов.</i> Керамзитопенобетон	54
<i>А. С. Заславская, А. М. Подвальный.</i> Морозостойкость ке- рамзитобетонов, поризованных пеной и газом	71
<i>Г. А. Бужевич, Э. Е. Меламед.</i> Керамзитобетон для судо- строения	85
<i>Г. П. Курасова, Р. Г. Фигаров.</i> Конструктивный керамзитобетон на известняковом песке	100
<i>Ю. М. Романов, Р. А. Цветаева.</i> Легкие бетоны на зольном гравии	113
II раздел	
<i>А. А. Евдокимов, Л. А. Макеева.</i> Легкие бетоны на вспучен- ных перлитовых песках	120
<i>Г. А. Бужевич, С. М. Каган.</i> Аглопоритоперлитобетон для ограждающих конструкций	134
<i>С. П. Тихонов.</i> Малоусадочный высокопрочный шлакопемзо- бетон	151
<i>А. А. Евдокимов, Л. А. Макеева.</i> Легкие бетоны на домен- ных гранулированных шлаках	160
<i>Г. А. Бужевич, Л. А. Макеева.</i> Легкие бетоны на вспенен- ных полистирольных заполнителях	173
<i>Г. А. Бужевич, А. С. Щербаков.</i> Арболит повышенной проч- ности	181

Госстрой СССР
Научно-исследовательский институт
бетона и железобетона
НИИЖБ

ТЕХНОЛОГИЯ И СВОЙСТВА НОВЫХ ВИДОВ
ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

• • •

Стройиздат
Москва, К-31, Кизнецкий мост, д. 9

• • •

Редактор издательства Тютюник М. С.
Технический редактор Мочалина З. С.
Корректоры Кудрявцева Е. Н., Рожкова Л. С.

Сдано в набор 21/VIII—1970 г. Подписано к печати 25/XI—1970 г.
Т-17743 Бумага 84×108^{1/4}—3,25 бум. л. 10,92 усл. печ. л.
(уч.-изд. 10,90 л.)
Тираж 4500 экз. Изд. № IVIII—2352. Зак. № 645 Цена 76 коп.

Подольская типография Глазполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
г. Подольск, ул. Кирова, д. 25

УДК 666.973

Работы д-ра техн. наук проф. Б. Г. Скрамтаева в области легких бетонов. Г. А. Бужевич. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях». М., Стройиздат, 1971, стр. 5—8. (НИИЖБ Госстроя СССР).

В статье говорится о вкладе проф. Б. Г. Скрамтаева в технологию легких бетонов на пористых заполнителях. Перечисляются его работы, которые способствовали развитию легкобетонного строительства в нашей стране.

УДК 666.973.2—16

Высокопрочный керамзитобетон марок 300—500. Курасова Г. П., Житкевич Р. К., Истомин А. С., В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях», Стройиздат, 1971, стр. 9—31. (НИИЖБ Госстроя СССР).

В статье даны характеристики керамзитобетона марок 300—500 на высокопрочном керамзите Волгоградского завода и кварцевом песке. Указаны характеристики использованных материалов и составов бетонов для смесей двух жесткостей 15 и 30 сек при использовании керамзита с наибольшим размером гранул 10 и 20 мм.

Приведены результаты определения следующих свойств керамзитобетона марок 300—500: прочность при осевом сжатии и растяжении и прочность на растяжение при изгибе при кратковременном воздействии нагрузки. Одновременно получены значения модулей упругости при сжатии, предельных показателей растяжимости и сжимаемости и коэффициента Пуассона.

Кроме того, описаны результаты измерения ползучести и усадки, а также характеристики долговечности бетона: морозостойкость, водонепроницаемость и истираемость.

Табл. 5, рис. 7. Библиография 17 названий.

УДК 666.973.2.017

Конструктивный керамзитобетон для строительства на Севере. Карпикова Л. И., Кац К. М. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1971, стр. 31—43 (НИИЖБ Госстроя СССР).

В статье приводятся результаты исследований влияния замораживания смесей в начальный период после приготовления на технические свойства отформованного из них высокопрочного керамзитобетона. Показано, что замороженная керамзитобетонная смесь после оттаивания может быть использована для бетонирования конструкций. Получены данные, характеризующие изменение свойств конструктивного керамзитобетона при его замораживании в раннем возрасте и показывающие, как влияют отрицательные температуры порядка -50°C на прочность при сжатии, растяжении при изгибе и водонепроницаемость конструктивного керамзитобетона.

Установлено влияние добавки ГКЖ-94 на свойства смеси и бетона при их замораживании в разном возрасте и при различных отрицательных температурах.

Табл. 4, рис. 3, библиография 3 названия.

Водонепроницаемый конструктивный керамзитобетон. Горчаков Г. И., Кац К. М. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1971, стр. 44—53 (НИИЖБ Госстроя СССР).

В статье излагается методика, а также результаты испытания водопроницаемости конструктивных керамзитобетонов различных составов. Рассматривается влияние на водопроницаемость керамзитобетона гранулометрии заполнителя, его пористости и расхода на 1 м³ бетона.

Дается анализ процесса фильтрации воды через конструктивный легкий бетон, на основе которого сделан вывод о путях фильтрации воды в плотном керамзитобетоне на пористом заполнителе.

Табл. 1, рис. 4, библиография 7 названий.

Керамзитопенобетон. Бужевич Г. А., Хаймов И. С. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1971, стр. 57—71 (НИИЖБ Госстроя СССР).

Указываются преимущества, которыми обладает керамзитопенобетон по сравнению с ячеистыми бетонами и керамзитобетоном слитного строения.

Приведены требования к материалам, используемым для изготовления керамзитопенобетонной смеси и изложена методика подбора состава керамзитопенобетона.

Освещены вопросы технологии изготовления изделий из керамзитопенобетона и дается принципиальная технологическая схема расстановки дополнительного оборудования для приготовления технической пены.

Даны значения $R_{пр}$, отношения $R_{пр}/R_{куб}$, модулей упругости, коэффициентов Пуассона, коэффициентов пластичности, предельной растяжимости и сжимаемости деформаций ползучести и усадки, коэффициентов морозостойкости и теплопроводности, а также водопоглощения керамзитопенобетона марок 50, 75 и 100 на керамзитах и цементах разных заводов. Приведены результаты определения сохранности арматуры в керамзитопенобетоне различных марок, а также данные натурных обследований жилых домов со стенами из керамзитопенобетона.

Табл. 6, рис. 2, библиография 11 названий.

Морозостойкость керамзитобетонов, поризованных пеной и газом. Заславская А. С., Подвальный А. М. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1971, стр. 71—84 (НИИЖБ Госстроя СССР).

В статье приведены результаты исследования морозостойкости поризованных керамзитобетонов в зависимости от температуры замораживания, степени водонасыщения и вида поризации. В опытах определялось приращение линейных деформаций образцов после оттаивания и изменение динамического модуля упругости керамзитобетона и керамзитопенобетона при попеременном замораживании и оттаивании в течение 75 циклов. Показано, что морозостойкость поризованных керамзитобетонов значительно превышает требования стандартов, предъявляемых к стеновым материалам как при замораживании при температуре -20°C , так и при температуре -60°C и при значительной степени водонасыщения.

Табл. 3, рис. 4, библиография 8 названий.

Керамзитобетон для судостроения. Бужевич Г. А., Меламед Э. Е. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях», Стройиздат, 1971, стр. 85—100 (НИИЖБ Госстроя СССР).

В статье показана возможность применения конструктивного керамзитобетона в сооружениях, эксплуатируемых в суровых условиях морей Дальнего Востока и Крайнего Севера СССР. Высокопрочный керамзитобетон, по показателям стойкости не уступающий тяжелому бетону, был получен при применении двухкомпонентной добавки, состоящей из кремнийорганического соединения (ГКЖ-10 или ГКЖ-94) и нитрата кальция. При этом улучшилась удобоукладываемость керамзитобетонной смеси, сократились расход воды и сроки выдержки бетона перед пропариванием (по сравнению с минимально необходимыми при применении однокомпонентной добавки ГКЖ), увеличилась микротвердость контактной зоны цементного камня с заполнителем. Введение таких двухкомпонентных добавок способствует сокращению объема макропор в поровом пространстве растворной составляющей керамзитобетона, снижает его объемный вес, повышает морозостойкость, водонепроницаемость и защитные свойства по отношению к арматуре.

Табл. 6, рис. 5, библиография 2 названия.

УДК 666.973.2.017

Конструктивный керамзитобетон на известняковом песке. Кура-сова Г. П., Фигаров Р. Г. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1971, стр. 100—113 (НИИЖБ Госстроя СССР).

В статье приведены результаты исследования новой разновидности керамзитобетона на керамзитовом гравии и мелком заполнителе из отходов, полученных при добыче известнякового камня в Азербайджане. На этих заполнителях получен экономический легкий бетон марок 300—400 с объемным весом 1800—1700 кг/м³. Описаны физико-механические свойства керамзитобетона на известняковом песке. Показано влияние ряда технологических факторов на прочность и объемный вес изученных бетонов.

Табл. 1, рис. 2, библиография 7 названий.

УДК 666.973.2+691.327—496

Легкие бетоны на зольном гравии. Романов Ю. М., Цветаева Р. А. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1971, стр. 113—119. (НИИЖБ Госстроя СССР).

Приводятся данные о свойствах каширского зольного гравия и легких бетонов на его основе, описаны результаты испытаний стеновых панелей длиной 6 м из бетона на зольном гравии.

Даются сведения о массовом внедрении стеновых панелей и экономическом эффекте от этого внедрения на Каширском заводе ЖБИ № 3.

Табл. 4, рис. 1, библиография 4 названия.

УДК 666.972.125+666.973.017

Легкие бетоны на вспученных перлитовых песках. Евдокимов А. А., Макеева Л. А. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1971, стр. 120—134 (НИИЖБ Госстроя СССР).

Описаны результаты исследований основных свойств вспученных перлитов из сырья Закарпатского и Мухор-Талинского месторождений (химический состав, насыпные объемные веса, прочность при сжатии в цилиндре и в куске, водопоглощение, межзерновая пустотность, пористость, удельный вес, морозостойкость). Приводятся сведения по подбору составов легких бетонов на вспученных перлитовых песках по основным технологическим факторам, влияющим на прочность и объемный вес таких бетонов, указаны их физико-технические свойства (призменная прочность и модуль упругости при сжатии и растяжении, ползучесть, усадка, теплопроводность, водостойкость и огнестойкость).

Табл. 6, рис. 6, библиография 6 названий.

УДК 666.973.2.017 : 620.17+666.972.125

Аглопоритоперлитобетон для ограждающих конструкций. Бужевич Г. А., Каган С. М. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1971, стр. 134—151 (НИИЖБ Госстроя СССР).

В статье приведены результаты исследований свойств вспученного перлита, аглопорита и бетонов на их основе. Излагаются экспериментальные данные по определению прочности при сжатии, растяжению, растяжению при изгибе, прочности при срезе, модуля упругости, сжимаемости, растяжимости, ползучести и усадки. Описаны результаты изучения стойкости аглопоритоперлитобетона в условиях попеременного замораживания и оттаивания, увлажнения и высушивания, длительного хранения в воздушно-сухих условиях.

Табл. 5, рис. 5, библиография 10 названий.

УДК 666.973.2.017

Малоусадочный высокопрочный шлакопемзобетон. Тихонов С. П. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1971, стр. 151—159 (НИИЖБ Госстроя СССР).

Описываются результаты лабораторных и производственных опытов по получению конструктивного шлакопемзобетона, усадка которого приближается к усадке равнопрочного тяжелого бетона. Приведены условия получения такого бетона на шлаковой пемзе с расходом цемента, равным расходу вяжущего в бетоне на гранитном щебне.

Табл. 3, рис. 2, библиография 4 названия.

УДК 666.973.2

Легкие бетоны на доменных гранулированных шлаках. Евдокимов А. А., Макеева Л. А. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1971, стр. 160—173 (НИИЖБ Госстроя СССР).

Приводятся результаты исследований гранулированных шлаков липецких (завода «Свободный сокол» и Новолипецкого), тульских (Косогорского завода и Новотульского) и гранулированного шлака Серовского завода. Даются результаты определения химического состава и насыпного объемного веса в зависимости от размера зёрен.

В работе приводятся составы керамзитобеточов и шлакопемзобетон на гранулированных шлаковых песках, указываются также физико-механические свойства таких бетонов и описываются результаты внедрения данного вида бетона в производство.

Табл. 4, рис. 2, библиография 7 названий.

Легкие бетоны на вспененных полистирольных заполнителях. Бужевич Г. А., Макеева Л. А. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1971, стр. 173—181 (НИИЖБ Госстроя СССР).

Описывается способ вспенивания суспензионного полистирола в лабораторных условиях, приводятся результаты определения основных свойств этого теплоизоляционного материала (насыпной объемный вес в зависимости от размера зерен, прочность при сжатии, водопоглощение, межзерновая пустотность), приводятся результаты подбора составов легких бетонов на вспененном полистироле марок 2—35 кг/см^2 , их физико-механические свойства и некоторые вопросы технологии приготовления таких бетонов.

Табл. 2, рис. 4, библиография 6 названий.

Арболит повышенной прочности. Бужевич Г. А. и Щербачков А. С. В кн.: «Технология и свойства новых видов легких бетонов на пористых заполнителях». Стройиздат, 1971, стр. 181—194. (НИИЖБ Госстроя СССР).

Рассматриваются вопросы производства арболита на древесной дробленке с прочностью при сжатии более 25 кг/см^2 . Приводятся технологические приемы получения такого материала, в том числе двойная обработка заполнителя цементом или пленкообразующими добавками, пропитка его химическими растворами, экстрагирование горячей водой, применение тампонажного цемента и минеральных песков. Описываются результаты исследования процессов ускорения твердения арболита.

Табл. 2, рис. 2, библиография 9 названий.