

**Г. А. НЕЧАЕВ
А. Г. ТИТОВ**

**КОМПЛЕКСНЫЕ
ТЕПЛОГИДРО-
ИЗОЛЯЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ
И ИХ
ПРИМЕНЕНИЕ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Г. А. НЕЧАЕВ
А. Г. ТИТОВ**

**КОМПЛЕКСНЫЕ
ТЕПЛОГИДРО-
ИЗОЛЯЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ
И ИХ
ПРИМЕНЕНИЕ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Ленинград—1972**

Научный редактор С. Г. ЕФРЕМОВ

В книге рассматриваются результаты исследований и применения новых теплогидроизоляционных комплексных материалов, изготавливаемых из минеральных и органических вяжущих, — гидрофобных керамзитобетона и асфальтокерамзитобетона, обладающих наряду с высокими теплогидроизоляционными и конструктивными свойствами достаточно высокой коррозионной стойкостью в условиях агрессивной среды и блуждающих электрических токов. Изложены основные принципы технологии изготовления, указана область и приведены примеры применения этих материалов, а также технико-экономические показатели использования их в гидротехническом строительстве и в сооружении теплопроводов.

Книга предназначена для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В связи с неуклонным расширением гидротехнического, промышленного и других видов строительства в районах с суровыми климатическими условиями первостепенное значение приобретает обеспечение теплоизоляции, гидроизоляции и антикоррозионной защиты конструкций от резких знакопеременных температур наружного воздуха, периодического смачивания водой и коррозионного воздействия окружающей среды.

Обширные теплофикационные работы, ведущиеся в различных районах нашей страны, требуют совершенствования конструкций подземных тепловых сетей и прежде всего улучшения способов тепло- и гидроизоляции теплопроводов.

Опыт строительства и эксплуатации зданий и сооружений показывает, что для теплогидроизоляции конструкций наиболее рационально использовать комплексные материалы, одновременно сочетающие в себе необходимые теплоизоляционные, гидроизоляционные, антикоррозионные свойства и обладающие конструктивной прочностью.

Использование таких материалов повышает техническую надежность и долговечность теплогидроизоляционных конструкций, устраняет их многослойность, упрощает технологию изготовления и снижает их стоимость.

Главы I, II и заключение написаны канд. техн. наук Г. А. Нечаевым, главы III и IV — инж. А. Г. Титовым.

ТЕПЛОГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ БЕТОНЫ

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Одним из широко распространенных в строительстве теплоизоляционных материалов являются легкие бетоны, которые делятся на два основных вида: ячеистые, или пористые (пенобетоны и газобетоны), и плотные бетоны на легких заполнителях (керамзитобетоны, золобетоны и др.).

Ячеистые бетоны наряду с положительными свойствами (небольшой вес, достаточная прочность и малая теплопроводность) имеют существенные недостатки: большое водопоглощение, или гидрофильность, и, как следствие, понижение при увлажнении морозостойкости, прочности и теплоизоляционных свойств. Поэтому конструкции из таких бетонов нуждаются в защите от увлажнения. Обычно на их наружную поверхность наносят окрасочную, оклеечную или другого вида гидроизоляцию. Конструкции из ячеистых бетонов, таким образом, становятся, как минимум, двухслойными. Помимо усложнения и удорожания, это создает ряд других недостатков. Гидроизоляционный слой препятствует удалению из бетона влаги, образующейся в процессе эксплуатации, и остаточной влаги изготовления. Кроме того, практически трудно достигнуть сплошности гидроизоляционного покрытия, особенно в протяженных конструкциях.

Проще и надежнее защита от увлажнения достигается применением конструкций из плотных бетонов на легких заполнителях, несмачиваемость, или гидрофобность, которых обеспечивается либо введением в цементный раствор гидрофобизирующих добавок и гидрофобизацией заполнителей, либо применением гидрофобного вяжущего (например, битума).

Плотные гидрофобные бетоны на легких заполнителях, таким образом, можно назвать комплексными теплогидроизоляционными материалами, обладающими также антикоррозионными и диэлектрическими свойствами. Благодаря этому становится возможным более эффективное их применение в конструкциях, изготовлявшихся до сих пор из гидрофильных ячеистых бетонов, расширяется область их применения и упрощаются конструктивные решения. В первую очередь это

относится к теплогидроизоляции гидротехнических сооружений и комплексным теплогидроизоляционным конструкциям бесканальных прокладок теплопроводов и бесчердачных крыш зданий.

По некоторым специфическим свойствам, широте области применения и особенностям изготовления гидрофобные бетоны разделяются на две основные модификации: гидрофобные цементобетоны и битумобетоны. Поскольку основным легким заполнителем в этих бетонах служит керамзит, а битумобетон по многим показателям близок к асфальтобетонам, для рассматриваемых ниже гидрофобных бетонов приняты наименования: гидрофобный керамзитобетон и гидрофобный асфальтокерамзитобетон.

Открытые и периодически смачиваемые поверхности железобетонных конструкций гидротехнических сооружений подвергаются разрушающему воздействию попеременного замораживания и оттаивания [1]. Кроме того, возникающие в периферийных слоях конструкций периодически сменяющиеся сжимающие и растягивающие напряжения, вызываемые резкими изменениями температуры наружного воздуха, нередко оказываются выше допустимых величин, что приводит к образованию трещин в бетоне. Подобные разрушения наблюдаются прежде всего в бетонных и железобетонных конструкциях плотин, каналов, шлюзов, причальных стенок и других гидротехнических строений речных и морских портов, водозаборных сооружений, мостовых опор, особенно возводимых в районах с суровым климатом, где колебания уровня воды сопровождаются резкими перепадами температуры наружного воздуха.

Разрушение бетона в результате замораживания характеризуется в основном следующими процессами: замерзание воды происходит прежде всего в крупных порах бетона, причем образующиеся кристаллы льда непрерывно увеличиваются вследствие притяжения воды из соседних мелких пор талой зоны бетона, расположенной ниже уровня воды. Увеличение объема ледяных кристаллов и постоянное повышение влагосодержания приводят к развитию внутренних растягивающих напряжений и разрушению бетона. Интенсивность разрушения бетона в результате замораживания возрастает с понижением температуры наружного воздуха, ибо наряду с непосредственным увлажнением замораживаемой зоны из-за капиллярного подсоса интенсифицируется тепловлагоперенос, увеличивающий увлажнение поверхностных слоев бетона за счет соседних, внутренних талых слоев. Таким образом, увлажнение и разрушение в результате замораживания наружных поверхностей бетонных конструкций происходят не только в зоне переменного уровня воды, но и выше его, т. е. в зоне, соприкасающейся с наружным воздухом.

Повышение долговечности и технической надежности гидротехнических сооружений приобретает все большее значение в связи с увеличением объемов гидротехнического строительства в районах с суровыми климатическими условиями. Поэтому на улучшение качества бетона для возведения плотин и других гидротехнических сооружений в этих районах обращено внимание научно-исследовательских, проектных и строительных организаций.

В результате исследований, проведенных во ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева под руководством д-ра техн. наук проф. В. В. Стольников и других ученых, были значительно улучшены составы, плотность и морозостойкость гидротехнического бетона [2].

Многолетние исследования ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева, НИИЖБ Госстроя СССР, ЦНИИС, Ленгидропроекта, НИС Гидропроекта имени С. Я. Жука и других научных учреждений подтверждают, что наряду с улучшением составов бетона, для повышения долговечности бетонных конструкций рационально устройство защитных покрытий, обладающих необходимыми теплогидроизоляционными свойствами. Новый ГОСТ 4795—68 на гидротехнический бетон предусматривает для объектов гидротехнического строительства в районах с суровыми климатическими условиями наряду с повышенной морозостойкостью бетона теплогидроизоляцию поверхностей конструкций.

Следует отметить, что железобетонные конструкции гидротехнических сооружений, защищенные от обводнения со стороны напорного фронта, могут подвергаться морозным разрушениям в результате замерзания воды, перемещаемой из внутренних зон массива под действием тепловлагопереноса [3].

В настоящее время разработано несколько видов теплогидроизоляции гидротехнических сооружений.

ЛенморНИИпроектом созданы конструкции теплогидроизоляции морских гидротехнических сооружений, применяемые в практике ремонта морских портов. Эти конструкции представляют собой экраны и оболочки из литых битумно-шлаковых смесей, покрытые защитной оболочкой из листовой стали или железобетона [4].

ЦНИИС разработана теплоизоляция бетонных элементов гидротехнических сооружений, состоящая из деревянного ограждения, наклеиваемого на поверхность изолируемой конструкции эпоксидными составами.

Практика подтверждает, что бетонные и железобетонные конструкции нуждаются в гидроизоляционной защите не только в районах с суровым климатом. Хотя в районах с умеренным климатом температурные напряжения в бетоне, как правило, не достигают опасных пределов, все же защита от

увлажнения железобетонных элементов, особенно в зоне переменного уровня воды, необходима. В этом случае, в зависимости от условий эксплуатации, могут применяться штукатурные гидроизоляции из холодных и горячих асфальтовых мастик или из коллоидного цементного раствора [5, 6].

Для защиты гидротехнических сооружений в районах с суровыми климатическими условиями НИС Гидропроекта имени С. Я. Жука разработана пеноэпоксидная теплогидроизоляция [7]. Опытные пеноэпоксидные покрытия применены для изоляции железобетонных конструкций Горьковской ГЭС, Кислогубской приливной электростанции и ряда других объектов.

Во ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева в результате многолетних исследований, стендовых и производственных испытаний создан новый теплогидроизоляционный материал — асфальтокерамзитобетон, обладающий высокими теплогидроизоляционными и антикоррозионными свойствами. На основе асфальтокерамзитобетона разработаны конструкции теплогидроизоляции железобетонных элементов гидротехнических сооружений [8], которые приняты в проектах некоторых гидротехнических сооружений, возводимых в суровых климатических условиях.

Гидрофобный асфальтокерамзитобетон находит применение для устройства теплоизоляции бесчердачных крыш и покрытий. До настоящего времени для теплоизоляции бесчердачных крыш применяются главным образом гидрофильные легкие минеральные материалы (ячеистые бетоны, керамзитобетоны и др.), что вызывает необходимость в устройстве пароизоляционного слоя.

Опыт эксплуатации бесчердачных крыш показал, что гидрофильные теплоизоляционные слои быстро увлажняются, теряют теплоизоляционные свойства и разрушаются. Поэтому рекомендуется применение вентилируемых бесчердачных покрытий.

Применение бесчердачных крыш с теплоизоляцией из гидрофобного керамзитобетона значительно упрощает конструкцию и снижает ее стоимость.

Теплогидроизоляционные бетоны могут также широко применяться для изоляции подземных теплопроводов при бесканальной их прокладке.

Одним из основных элементов систем централизованного теплоснабжения, по стоимости достигающим 50% и более от стоимости источника тепла, являются тепловые сети. Основным видом их прокладки является подземная, осуществляемая главным образом в непроходных каналах.

Прокладка тепловых сетей в непроходных каналах имеет много недостатков. Несмотря на воздушный зазор между

грунтом и изолированным трубопроводом, такая прокладка не обеспечивает должных эксплуатационных показателей. Так, при контрольных вскрытиях теплосети Мосэнерго обнаружено, что разрушение минеральной ваты, являющейся основным теплоизоляционным материалом в таких конструкциях, произошло в 15—20% вскрытий, а замеры тепловых потерь показали, что в отдельных системах тепловые потери превосходят 15% от общего количества отпускаемого тепла.

Кроме того, к недостаткам прокладки тепловых сетей в непроходных каналах относятся многослойность и трудоемкость конструкций, что обуславливает их малую индустриальность и высокую стоимость.

Анализ стоимости прокладок в непроходных каналах показал, что основной ее составляющей является стоимость ограждающих конструкций или собственно железобетонных каналов. В табл. 1 приведено соотношение затрат (в про-

ТАБЛИЦА 1

Диаметр труб, мм	В % от общей стоимости прокладки				Всего
	Земляные работы	Строительные конструкции	Тепловая изоляция	Монтаж тру- бопроводов	
50	10	68	4	18	100
100	9	64	6	21	100
300	8	56	12	24	100
500	8	49	12	31	100

центах от общей стоимости) по отдельным конструктивным элементам такой прокладки. Это соотношение со всей очевидностью свидетельствует о том, что значительного удешевления подземной прокладки тепловых сетей, особенно при малых и средних диаметрах трубопроводов, преобладающих в распределительных сетях больших городов и сетях небольших систем централизованного теплоснабжения (поселков, сельских районных центров и т. п.), можно достичь только путем снижения стоимости строительных конструкций или перехода на бесканальную прокладку. При разработке конструкций бесканальной прокладки и выборе материалов повышение долговечности и надежности тепловых сетей должно быть достигнуто в основном за счет защиты труб от коррозии, снижения тепловых потерь, уменьшения стоимости и повышения индустриальности строительства, сокращения эксплуатационных расходов.

Обеспечение этих требований в конструкциях бесканальной прокладки тепловых сетей, находящихся по сравнению с прокладкой в каналах в более тяжелых условиях температурно-влажностного режима, вследствие непосредственного

контакта теплоизоляционной конструкции с грунтом возможно лишь при применении специальных конструктивных решений и материалов, отличных от используемых в канальной прокладке.

В результате отечественных и зарубежных технико-экономических исследований оптимальной конструкцией бесканальной прокладки признана монолитная однослойная конструкция (т. е. из одного материала или композиции материалов), комплексно обеспечивающая антикоррозионную защиту трубопроводов и их теплогидроизоляцию, а также допускающая максимальную индустриализацию работ при минимальной стоимости строительства.

Однако из-за основных различий в структуре теплоизоляционных (пористых и поэтому гидрофильных) гидроизоляционных и антикоррозионных (плотных, водонепроницаемых) материалов создание однослойных, или «мономатериальных», конструкций весьма сложно. Поэтому как в отечественной, так и в зарубежной практике широко применяются двухслойные конструкции бесканальной прокладки, состоящие из теплоизоляционного монолитного слоя, частично обеспечивающего благодаря плотному прилеганию или даже адгезии с металлом труб антикоррозионную и покровную гидроизоляцию (например, применяемая в Ленинграде конструкция из автоклавного армопенобетона, киевская конструкция в битумоперлите, конструкция из поропласта и некоторые другие).

Создание же однослойных, или «мономатериальных», конструкций бесканальных прокладок тепловых сетей на сегодняшний день возможно только на основе теплогидроизоляционных бетонов.

К «мономатериальной» изоляции можно отнести предложенную ВТИ имени Ф. Э. Дзержинского конструкцию в асфальтоизоле. Однако применяемый в виде порошкообразной засыпки «мономатериал» — асфальтозол — образует в прокладке в результате нагрева трубопровода многослойную конструкцию.

§ 2. ГИДРОФОБНЫЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН

Обычные керамзитобетоны, изготавливаемые на основе минеральных вяжущих материалов, относятся к группе легких бетонов и по назначению подразделяются на следующие виды:

теплоизоляционные, используемые для возведения самонесущих теплоизоляционных конструкций;

конструктивно-теплоизоляционные, применяемые для самонесущих наружных ограждающих конструкций зданий;

конструктивные, предназначенные для несущих конструкций, к которым не предъявляются требования по теплозащите.

Легкие керамзитобетоны являются гидрофильными материалами, способными при контакте с водой или водяными парами быстро увлажняться, поэтому изготавливаемые из них конструкции нуждаются в гидроизоляции и защите от коррозии. Это обычно достигается путем нанесения на поверхности конструкций оклеечной, окрасочной и других видов гидроизоляции. Однако керамзитобетону, так же как и иным искусственным каменным материалам, можно придать свойство несмачиваемости — гидрофобности, вводя в его состав небольшие количества гидрофобизирующих поверхностно-активных веществ (ПАВ). Эффективность введения таких добавок открыта В. В. Стольниковым; они широко используются в отечественной и зарубежной практике гидротехнического строительства [9, 10].

В настоящее время для уменьшения смачиваемости каменных поверхностей строительных конструкций зданий и других элементов сооружений применяются их окраска гидрофобными составами, а также гидрофобизация поровой структуры бетонов и растворов.

Опыт использования гидрофобизированных поверхностей показал, что гидрофобная пленка, наносимая путем окраски на поверхности стен фасадов и других элементов зданий и сооружений, недолговечна — она разрушается через несколько месяцев. Гидрофобизация бетонов посредством введения гидрофобизирующих поверхностно-активных веществ в состав бетонной смеси недостаточно проверена на практике.

Нами исследовались легкие конструктивно-теплоизоляционные керамзитобетоны, при изготовлении которых использовались предварительно гидрофобизированные заполнители и наполнители (керамзитовые гравий и песок, зола-унос ТЭЦ и др.), а в качестве вяжущего — портландцемент.

В воду затворения бетонной смеси вводились гидрофобизирующие ПАВ. Бетоны, приготовленные на такой воде, обладают достаточно высокой механической прочностью, водостойкостью и низким коэффициентом теплопроводности.

Из опыта проектирования и эксплуатации тепловых сетей следует, что гидрофобный керамзитобетон, используемый в качестве конструктивного теплогидроизоляционного материала подземных теплопроводов бесканальной прокладки, должен обладать следующими физико-механическими и изоляционными свойствами:

объемная масса, кг/м ³	500—1100
прочность при сжатии, кгс/см ²	6—10
водопоглощение, % по весу,	не более 4—6

водонепроницаемость (способность выдержи- вать избыточное давление воды), кгс/см^2	0,6—1,2
коэффициент теплопроводности сухих образ- цов при температуре 22°C , $\text{ккал} \cdot \text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$	0,14—0,19
удельное объемное электрическое сопротивле- ние сухих образцов, $\text{ом} \cdot \text{см}$	не менее $5 \cdot 10^{10}$
удельное объемное электрическое сопротив- ление максимально увлажненных образцов, $\text{ом} \cdot \text{см}$	не менее $4 \cdot 10^7$

Конструктивный теплогидроизоляционный гидрофобный керамзитобетон для приобретения перечисленных свойств должен иметь плотную, не смачиваемую водой структуру. В плотном керамзитобетоне межзерновые поры гравия и песка полностью заполняются цементным раствором. При твердении раствора и превращении его в цементный камень в структуре последнего вследствие испарения излишней влаги образуются капиллярные поры.

Для улучшения структурно-механических свойств керамзитобетона следует (как уже говорилось) создать мелкопористую не смачиваемую водой структуру, что достигается введением в состав керамзитобетонной смеси воздухововлекающих и гидрофобизирующих поверхностно-активных веществ.

В результате введения в состав бетонной смеси воздухововлекающих добавок изменяется поровая структура бетонного камня: вместо трубчатых капилляров поры цементного камня приобретают вид отдельных равномерно распределенных в массе пузырьков. Цементное тесто, таким образом, становится поризованным мелко раздробленными пузырьками воздуха, которые играют роль легкого наполнителя. Это значительно улучшает основные физико-механические свойства бетона и прежде всего его морозостойкость и водостойкость. Однако бетоны, в том числе и керамзитобетон, остаются гидрофильными материалами, легко увлажняемыми при контакте с водой.

Для уменьшения смачиваемости поверхности керамзитобетона и его пор нами были применены гидрофобизирующие поверхностно-активные вещества в виде водных растворов кремнийорганических жидкостей типа ГКЖ-10 или ГКЖ-11.

Совместное введение воздухововлекающих и гидрофобизирующих поверхностно-активных веществ значительно улучшает основные физико-механические и изоляционные свойства керамзитобетона и, что самое главное, делает его гидрофобным.

Для приготовления керамзитобетона применялись следующие материалы. В качестве вяжущего применен портландцемент марки 400 ленинградского цементного завода им. Воровского. Для повышения удобоукладываемости бетонной смеси, снижения водопоглощения и улучшения структуры керамзитобетона была применена добавка — смола нейтрализованная

воздухововлекающая (СНВ), выпускаемая Тихвинским лесохимическим заводом.

Проводимые в лаборатории гидроизоляции ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева исследования показали, что введение смолы СНВ в состав гидрофобного керамзитобетона весьма эффективно. Было создано две серии образцов: одна серия с введением в состав бетонной смеси смолы СНВ и другая — с использованием гидрофобизирующих поверхностно-активных веществ: кремнийорганической жидкости ГКЖ-10 или ГКЖ-11, свойства которых приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2

Наименование показателей	ГКЖ-10 (ВТУ 6ЕУ 212—61)	ГКЖ-11 (ВТУ 6ЕУ 211—61)
Вид химического соединения	Этилсиликонат натрия	Метилсиликонат натрия
Внешний вид	Мутно-желтая жидкость	Прозрачная бледно-желтая жидкость
Удельный вес, г/см ³	1,225	1,239
Содержание, %:		
гидрата натрия	17,5	11,9
основного вещества	15,5	20,6

Поверхностно-активные вещества вводились в воду затворения в следующих количествах: СНВ — 0,02% (сухого вещества), кремнийорганические жидкости — 0,025÷0,05% от веса цемента.

В качестве крупного наполнителя использовался керамзитовый гравий Ленинградского керамического завода и Лионозовского ДСК с объемной массой соответственно 600—800 и 300—400 кг/м³.

Мелким заполнителем и наполнителями служили керамзитовый песок Лионозовского ДСК, искусственный дробленый керамзитовый песок и зола-унос ТЭЦ.

Минеральные наполнители и заполнители являются гидрофильными материалами, и, как показали исследования, применение таких влагоемких материалов приводит к повышенной водопотребности бетонной смеси и значительному поглощению готового керамзитобетона.

Для снижения водопотребности бетонной смеси и улучшения водостойкости керамзитобетона были применены предварительно гидрофобизированные керамзитовый гравий, керамзитовый песок и зола-унос ТЭЦ.

Гидрофобизация минеральных материалов производилась по методу д-ра техн. наук проф. Н. В. Михайлова разжиженным битумом по усовершенствованной в лаборатории гидроизоляции ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева методике [11]. Для

гидрофобизации применялся разжиженный битум следующего состава (% по весу): битум марки БН-V — 40, керосин — 59, асидол — 1. В качестве гидрофобизирующего вещества использовались также кремнийорганические жидкости ГКЖ-10 и ГКЖ-11. Результаты гидрофобизации минеральных материалов приведены в табл. 3.

Данные табл. 3 показывают, что в результате гидрофобизации водопоглощение минеральных материалов практически снизилось до нуля.

ТАБЛИЦА 3

Наименование минеральных материалов	Водопоглощение, % по весу	
	до гидрофобизации	после гидрофобизации
Керамзитовый гравий Лионозовского ДСК	19,8	0,5
То же, Поповского завода	12,2	0,1
Керамзитовый песок Лионозовского ДСК	20,6	0,2
То же, искусственного дробления	20,4	0,2
Зола-унос ТЭЦ	41,6	0,0

Степень гидрофобности минеральных материалов испытывалась в лаборатории. Прочность и сплошность гидрофобных пленок минеральных материалов испытывались в различных температурно-влажностных условиях и оказались достаточно высокими. Испытания на морозостойкость материалов производились по ГОСТ 4800—59 при температурах от —17 до —20°С.

После 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания определялись потери веса образцов; результаты приведены в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4

Наименование образцов	Вес образца, г		Потеря веса образца	
	до замораживания	после замораживания	г	%
Гидрофильный керамзитовый гравий:				
Ленинградского керамического завода . .	18,80	15,30	3,50	18,6
Лионозовского ДСК	18,82	13,20	3,60	21,5
Гидрофобный керамзитовый гравий:				
Ленинградского керамического завода . .	12,48	12,25	0,33	3,8
Лионозовского ДСК	11,30	11,26	0,04	0,3

На зернах обычного керамзитового гравия после испытаний наблюдались поверхностные разрушения (отслоения и трещины), отмечались также значительные потери в весе образцов. Образцы гидрофобизированного керамзитового гравия после испытаний сохранили свой первоначальный вид, и потери в их весе были незначительными.

Морозостойкость гидрофильных и гидрофобных образцов керамзитового песка, испытанных в одинаковых условиях в морозильной камере, оценивалась также путем сравнения их зернового состава до и после испытаний (табл. 5).

ТАБЛИЦА 5

Наименование материалов	Остаток по весу на сите с отверстиями (мм), %						
	3	2	1	0,5	0,25	0,15	Мелее 0,15
Обжиговый керамзитовый песок:							
до замораживания . .	27	55	7,4	3,6	0,3	4	0,7
после замораживания	21	58	10,4	0,7	1,3	6	1,8
Дробленый керамзитовый песок:							
до замораживания . .	26	15	10	13	17	18	1
после замораживания	18	19	5	15	18	22	3
Гидрофобный обжиговый керамзитовый песок:							
до замораживания . .	24	57	6,8	4,5	2,0	3,4	2,5
после замораживания	24	57	6,0	5,2	2,2	3,0	2,6
Гидрофобный дробленый керамзитовый песок:							
до замораживания .	25	14	11	14	17	16	8
после замораживания	25	14	9	13	18	17	4

Из данных табл. 5 видно, что в результате многократного замораживания и оттаивания гранулометрический состав обычных гидрофильных керамзитовых песков значительно изменился, что свидетельствует о разрушении структуры отдельных зерен. В зерновом составе гидрофобных керамзитовых песков изменений не произошло. Прочность гидрофобных пленок керамзитового гравия и керамзитового песка проверялась после длительного выдерживания в воде. Образцы высушивались, и после этого проверялась степень их гидрофобности. Испытания показали, что гидрофобные пленки на поверхности песка и гравия сохранились. Теплоустойчивость пленок проверялась после непрерывного сухого прокаливании в термостате при температуре 150°С в течение 1000 ч. Гидрофобность пленок сохранилась.

Прочность гидрофобных пленок керамзитового гравия и песка была испытана в условиях попеременного высушивания

и увлажнения. Образцы помещались в ванночки, увлажнялись в течение 8 ч, а затем высушивались. Таким образом материалы подвергались 25-кратному увлажнению и высушиванию при температуре 100—110° С, после чего проверялась степень их гидрофобности. Исследования показали, что гидрофобный керамзитовый песок после испытаний сохранил свои гидрофобные свойства. Исследованиями установлена также достаточная прочность гидрофобных пленок гидрофобной золы-уноса ТЭЦ [12].

Результаты проведенных испытаний позволяют сделать следующие выводы:

1) керамзитовый гравий, керамзитовый песок и зола-унос ТЭЦ обладают высоким водопоглощением и низкой морозостойкостью;

2) для повышения водостойкости и морозостойкости минеральных наполнителей бетонной смеси рациональна предварительная их гидрофобизация.

Испытания гидрофобного керамзитобетона. При определении водонепроницаемости образцы обычного гидрофильного керамзитобетона выдержали давление 0,2—0,3, а гидрофобного — около 1,5 кгс/см².

Водопоглощение образцов определялось по стандартной методике после длительного выдерживания их до достижения полного водонасыщения. Водопоглощение обычного керамзитобетона быстро повышалось и через 15 суток составило 26% (по весу). Максимальное водопоглощение гидрофобного керамзитобетона составило лишь 2—6% (по весу).

Капиллярное всасывание и смачиваемость устанавливались на образцах-стаканах, изготовленных из обычных и гидрофобных керамзитобетонов. Стаканы имели внутреннее сечение 100×100 мм, высоту 100 мм и толщину стенок и дна 30 мм. После твердения и высушивания они наполнялись водой. Сразу после наполнения в стаканах, изготовленных из обычного керамзитобетона, была отмечена интенсивная фильтрация воды через стенки и днище; в стаканах, изготовленных из гидрофобного керамзитобетона, фильтрация и снижение уровня воды не наблюдались.

После 380 суток выдерживания с водой один из стаканов, изготовленных из гидрофобного керамзитобетона, был освобожден от воды и распилен на части для определения степени увлажнения материала. Осмотр распиленных стенок и дна стаканов показал, что гидрофобный керамзитобетон в течение 380 суток непосредственного контакта с водой увлажнился лишь на глубину 2—2,5 мм.

Теплопроводность определялась по методу регулярного режима. В табл. 6 приведены теплофизические характеристики свойств образцов гидрофобного керамзитобетона.

Электрическое сопротивление образцов гидрофобного керамзитобетона определялось с помощью локальных элементов по схеме, представленной на рис. 1. На локальных элементах, объединенных в группу, проводились также длительные испытания на коррозионную стойкость материала в агрессивной среде и воздействие электрического потенциала на стенде по схеме, приведенной на рис. 2.

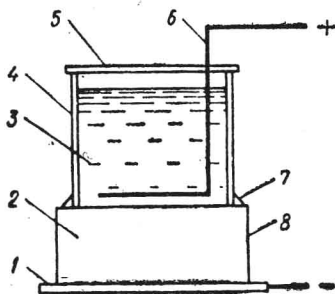


Рис. 1. Схема локального элемента для определения электрического сопротивления и коррозионной стойкости материала

1 — металлическая подложка; 2 — образец испытуемого материала; 3 — электролит — вода или раствор агрессивной жидкости; 4 — цилиндр из органического стекла; 5 — крышка цилиндра; 6 — электрод; 7 — обкладка из пластилина; 8 — парафиновое покрытие

В табл. 7 представлены данные значений удельного объемного электрического сопротивления образцов керамзитобетона. Результаты испытаний показали, что в условиях постоянного увлажнения электрическое сопротивление гидрофобного керамзитобетона остается достаточно высоким.

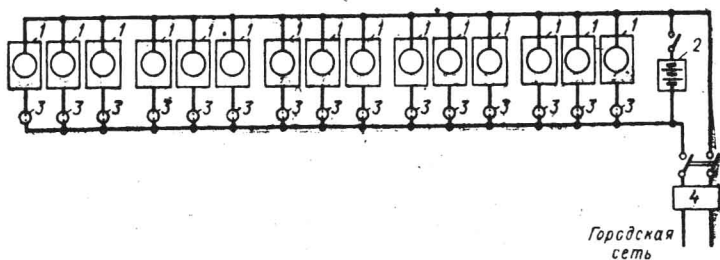


Рис. 2. Схема стенда для длительного испытания материала в условиях агрессивной среды и воздействием электрического потенциала
1 — локальный элемент с образцом испытуемого материала; 2 — аккумулятор; 3 — выключатель; 4 — термометр

Длительные стендовые испытания проводились на тех же локальных элементах с приложением электрического потенциала в 1,5 и 3 в. В качестве электролита в цилиндры локальных элементов наливались агрессивные водные растворы: соляной кислоты с $pH=4,5$, едкого натра с $pH=8,5$, гуминовой кислоты 40 мг/л, 0,012% нитрата, 3% хлористого кальция.

Испытания продолжались в течение 2200 суток; результаты их приведены в табл. 8. Испытания проводились в изотермических условиях. Если материал используется для теп-