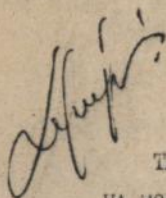


На правах рукописи

КУЧЕРЕНКО Александр Антонович

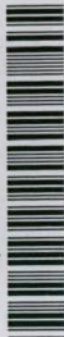


ТЕХНОЛОГИЯ ЛЁГКИХ БЕТОНОВ  
НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

05.23.05 - Строительные материалы и изделия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание учёной  
степени доктора технических наук

Одесса - 1992



Робота виконана в Одеському інженерно-будівельному інституті

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Бурлаков Герман Сергєєвич  
доктор технічних наук, професор  
Лунагин Володимир Николаєвич  
доктор технічних наук, професор  
Дворкин Леонид Йосифович

Ведущая організація - інститут "Укрстромніипроєкт" НІО "Строй-  
материали" Минпромстройматериали України

Захист дисертації состоится "8" декабря 1992 г.  
в 14 час \_\_\_\_\_ мин на засіданні спеціалізованого Совета  
Д.068.41.01 в Одеському інженерно-будівельному інституті  
по адресу: 270029, г.Одеса, ул.Дидрихсона,4, ауд. № 210

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеського  
інженерно-будівельного інститута

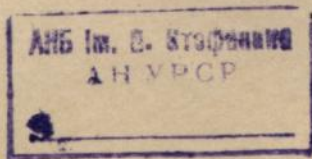
Автореферат разослан "2" ноября 1992 г.

Учений секретарь

спеціалізованого Совета

*Малахова*

Малахова Неоніла Алексєєвна



## АННОТАЦИЯ

В диссертационной работе, на основе анализа литературных данных и теоретических обоснований, показана роль пористого заполнителя и цементной составляющей /матрицы/ в структурообразовании лёгкого бетона. Заполнитель поглощает воду затворения из цементного теста и набухает. Последнее теряет воду затворения и уменьшается в объёме. Эти деформации составляющих бетона разного знака и вызываемые ими напряжения - один из источников раннего нарушения структуры лёгкого бетона.

Постоянное перераспределение воды затворения между пористым заполнителем и матрицей, определяет в последней наличие градиентов водосодержания. Это позволяет нам предположить и о наличии градиентов водовяжущего отношения, а, следовательно, и градиентов концентрации новообразований. И тогда становится правомерной гипотеза о неодновременности отвердевания каждого рядом расположенного элементного объёма цементного теста. Отвердевает оно с опережением в одних зонах и с запаздыванием - в соседних. А это сдвиг элементных объёмов /сечений/ друг относительно друга, т.е. ещё один источник раннего трещинообразования и последующей неоднородности структуры лёгкого бетона. Наличие градиентов свойств твердеющего цементного теста сохраняется и в зрелом лёгком бетоне. Эти данные подтверждают объективность существования выдвинутой нами рабочей гипотезы о неоднородности /несоответствии/ свойств соседних элементных объёмов цементного камня в лёгком бетоне.

Без учёта этих явлений невозможно решить проблему улучшения качества лёгкого бетона. При этом важно обеспечить высокую однородность отдельных компонентов его. Чтобы свести к минимуму разность деформаций составляющих лёгкого бетона и чтобы твердело цементное тесто в спокойном состоянии и возникали равнопрочные связи по всему объёму, необходимо свести к минимуму градиенты водосодержания его. Этому может способствовать применение заполнителя с минимальной величиной водопоглощения. Для этого поры и капилляры его кольматируют или создают в них противокапиллярное давление. Нами эта проблема решается модификацией или использованием естественно модифицированного исходного сырья для заполнителя или модификацией заполнителя.

Бесспорен приоритет отечественных учёных по вопросу модификации заполнителей для бетона, однако имеется некоторая тенденция к недооценке необходимости интенсификации этих работ

применительно именно к лёгким пористым заполнителям более широкой номенклатуры. Некоторая диспропорция между объёмом проведённых исследований и степенью их реализации возникла из-за того, что на: полное количество результатов и их теоретическая значимость не позволяют сделать необходимых обобщений и обеспечить качественный сдвиг в решении этой проблемы. Например, гидрофобизуют только перлитовый песок и до настоящего времени в литературе нет сведений о гидрофобизации не только заполнителя другого вида, но и крупнее 5 мм. Не производится у нас заполнитель с оплавленной поверхностью и потому не используются громадные залежи /около 1,9 млрд. т/ кремнистых опок Поволжья и ил дноуглублений морских водоёмов.

Выбран вид исходного сырья для заполнителя /кремнистые опки, ил/ и вид заполнителя /искусственный пористый/, а также вид активного вещества для модификации /ПАВ, растворы, суспензии, отходы производств/. Разработана технология модификации заполнителя и изучены факторы, определяющие качество модифицированного заполнителя. Экспериментально доказана возможность направленного модифицирования заполнителя с целью улучшения его качества.

Изучены основные свойства модифицированного заполнителя и факторы, их определяющие. Показано действие на него дисперсионных сред и кинетика влагообмена между модифицированным заполнителем и матрицей. Определены влажностные деформации составляющих лёгкого бетона. Изучена адгезия заполнителя с матрицей и стойкость его в агрессивных средах стационарного и знакопеременного характера, а также сохранность покрытия.

Разработана технология бетона на модифицированном заполнителе: определены основные свойства бетонных смесей и бетона, а также режимы их получения. С применением современных физико-химических методов исследования проведён фазовый анализ и изучены особенности структуры бетона. Показаны особенности проектирования состава бетона на модифицированных заполнителях. Приведены разработки, исследование и внедрение конструкций на их основе.

Экспериментально доказана справедливость рабочих гипотез о работе цементной матрицы в пространстве между пористым заполнителем как балки на изгиб, о неодновременности отверждения и о неоднородности свойств элементов объёмов матрицы, что имеет принципиальное значение для дальнейшего развития теории проч-

ности строительных композитов и изыскания путей повышения их качества. Приведены технико-экономические обоснования выпуска модифицированного заполнителя для лёгкого бетона. Разработаны инструкции по технологии модификации заполнителя и по технологии бетона на его основе.

Научные положения практически реализованы при разработке и внедрении технологии модифицированного заполнителя и изготовления железобетонных изделий на их основе, новизна которых защищена II авторскими свидетельствами. Экономический эффект от внедрения разработок составляет 1.145.200 руб.

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Перед промышленностью строительных материалов, конструкций и деталей стоят важные задачи по дальнейшему повышению объёма выпуска пористых заполнителей и изделий на их основе, экономии цемента, а также снижению стоимости и трудоёмкости строительства. Кроме того, одним из важнейших направлений научно-технического прогресса является получение материалов с заданными свойствами. Поэтому технолог должен умело использовать имеющиеся ресурсы, разрабатывать новые более эффективные технологические приёмы, снизить массу бетона и повышать его прочность.

Тормозом в продвижении по этому пути является дефектность структуры лёгкого бетона, которая зарождается ещё на стадии его формирования. Последняя же в сильной мере определяется однородностью свойств компонентов бетона, особенно возникновением между ними деформаций разного знака и уровня и градиентов водосодержания. Это источник влажностных деформаций и последующих за ними градиентов других свойств матрицы, заполнителя и зоны их контакта. Для объяснения этого нами выдвинуты рабочие гипотезы о работе цементной матрицы в лёгком бетоне как балки на растяжение при изгибе, а также о неодновременности отвердевания и о неоднородности свойств её. Следствием этого является раннее зарождение дефектности структуры лёгкого бетона.

Улучшению структуры и повышению долговечности лёгкого бетона в определённой мере способствует современное и перспективное направление - химизация бетона. В диссертационной работе рассматриваются вопросы химизации компонентов бетона, в частности, модификация пористого заполнителя активными веществами. Пленочности заполнителя или сырья для него придаются заданные физико-

-механические свойства и определённое отношение его к действию воды затворения и воды-среды. Заполнитель гидрофобизируется, поры его коагулируются или поверхность зёрен оплавливается. В результате можно значительно расширить область применения и повысить эффективность использования лёгкого бетона.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с координационными планами основных научно-исследовательских работ Госстроя СССР по проблеме "Лёгкие бетоны и конструкции из них", /номер госрегистрации - 01850065770/, а также по проблеме 31.03 "Создать и внедрить в производство технологические процессы, обеспечивающие использование в строительстве грунтов, разрабатываемых при морских дноуглубительных и планировочных работах с учётом природоохранных мер" /номер госрегистрации - 01880009685/.

Цель работы заключается в разработке теоретических основ и практических рекомендаций по технологии модифицированного заполнителя и по технологии лёгкого бетона с повышенными строительно-эксплуатационными свойствами и лучшими технико-экономическими показателями.

Задачи работы: - проанализировать и обобщить ранее проведённые исследования о роли заполнителя в структурообразовании бетона, выработать теоретические предпосылки улучшения качества заполнителя для получения бетона повышенного качества;

- экспериментально доказать объективность существования рабочих гипотез о работе цементной матрицы в лёгком бетоне как балки на растяжение при изгибе, а также о неодновременности отвердевания и о неоднородности свойств её;

- разработать технологию модификации пористого заполнителя и технологию лёгкого бетона на его основе;

- повысить однородность физико-механических свойств как самого заполнителя, так и бетонных смесей и бетона на его основе;

- изучить основные свойства смеси и бетона, а также структурные особенности их на модифицированных заполнителях;

- выработать рекомендации по технологии модификации заполнителя и по технологии лёгкого бетона на его основе.

Научная значимость и новизна. Разработаны рабочие гипотезы о работе цементной матрицы в лёгком бетоне как балки на растяжение при изгибе, а также о неодновременности отвердевания и о неоднородности свойств её. Экспериментально подтверждена их справедливость, что имеет принципиальное значение для дальней-

шего развития теории прочности строительного композита и  
изыскания путей повышения его качества.

В технологии лёгкого бетона впервые указано на необходимость:

- учёта деформативных особенностей составляющих лёгкого бетона, одновременного отвердевания элементных объёмов цементной матрицы в пространстве между соседними зёрнами заполнителя; сведения к минимуму величины водопоглощения пористого заполнителя и градиентов водосодержания матрицы;
- модификации исходного сырья с целью получения оплавленной поверхности заполнителя /а.с.№№134509, 136124, 1530599/;
- назначения рациональных способов и режимов модификации исходной породы /а.с.№№992431, 1512945, 1606157/ и заполнителя /а.с.№№663556, 1622326/;
- использования модификации заполнителей с целью улучшения удобоукладываемости бетонных смесей и снижения энергетических затрат на её уплотнение /а.с.№1174404/;
- изучения свойств смеси и бетона на модифицированном заполнителе и на илокерамзите /а.с.№№1630405, 1698212/;
- использования модификации с целью повышения однородности физико-механических свойств заполнителя, бетонной смеси и бетона.

Эти положения экспериментально решаны и теоретически обоснованы в случае применения модифицированного материала как заполнителя для бетона.

Практическая ценность и реализация в промышленности. Разработаны основы заводской технологии модификации исходного сырья для заполнителя и бетона, созданы бетоны на их основе, обладающие улучшенными свойствами и повышенной долговечностью. Разработана технология лёгкого бетона на модифицированном заполнителе, осуществлено проектирование, изготовление и испытание изделий на заполнителе улучшенного качества.

Разработанные технологии модификации пористого заполнителя и железобетонных изделий из лёгкого бетона на нём использованы при составлении технических условий по модификации исходного сырья для термолита, по гидрофобизации керамзита, азерита, золаглопорита.

Технология модифицированного керамзита освоена на заводе керамзитового гравия п.о. "Одесжелезобетон", на заводе сборного железобетона треста "Промстройматериалы" Главастраханрестроя и на территориальном строительном объединении Астраханрестрой. Модифицированный золаглопорит выпущен на Днестровском

золаогнепоритовом заводе Молдовы. Выдано техническое задание на проектирование завода модифицированного теормолита у с.Каменный Яр Астраханской области.

Экономическая эффективность применения модифицированного заполнителя в производстве железобетонных изделий составила 1.145.200 руб. Ожидаемый экономический эффект от использования ила морских дноуглублений Чёрного моря в промышленности строительных материалов - около 2,5 млн.рублей в год.

Апробация работ. Основные научные и практические результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих научно-технических конференциях: республиканских /Кишинев, 1970; Киев, 1973; Владивосток, 1975, 1990; Саратов, 1981; Брянск, 1984; Челябинск, 1985/, всесоюзных /Москва, 1974; Одесса, 1975; Ростов н/Д, 1981; Ташкент, 1985, 1989; Сыктывкар, 1989; Алма-Ата, 1990; Челябинск, 1990; Белгород, 1991/, международных /София, 1984; Приморск, 1985; Варна, 1988, 1989; Познань, 1989/. Республиканские семинары по улучшению качества искусственных пористых заполнителей /Куйбышев, 1982; Киев, 1983; Москва, 1983; Одесса, 1986, 1987; Черкассы, 1987; Новосибирск, 1987/. Результаты отдельных разделов диссертации демонстрировались на ВДНХ СССР /г.Киев, 1983/ и на ВДНХ СССР /г.Москва, 1989/. Автор награждён дипломом II степени /УССР/ и серебряной медалью /СССР/.

Публикации по диссертации изложены в 65 работах, в том числе I книга, I брошюра, 52 статьи и II авторских свидетельств.

Объём и структура диссертации включают введение, теоретические предпосылки, 8 глав экспериментальной части и основных выводов. Она изложена на 418 страницах машинописного текста, в том числе 225 страниц основного текста, 157 рисунков, 94 таблицы, 322 наименований описки литературы и 6 приложений.

I глава посвящена теоретическим предпосылкам применения модифицированного заполнителя для лёгкого бетона. На основе изученных физико-химических процессов формирования структуры лёгкого бетона предложены рабочие гипотезы о работе цементной матрицы в пространстве между пористым заполнителем как балки на растяжение при изгибе, а также о неодновременности отвердевания и о неоднородности свойств её.

Во 2 главе изложена методика исследований, обоснован выбор заполнителя для бетона и выбор активных веществ для модификации исходного сырья для заполнителя и заплывителя. Изложена технология модификации заполнителя.

В 3 главе изучена роль влагообмена между цементным тестом и пористым заполнителем в структурообразовании лёгкого бетона. Подтверждена объективность существования рабочих гипотез.

В 4 главе исследованы свойства модифицированного заполнителя, а в 5 и 6 - разработана технология бетона на нём.

В 7 и 8 главах рассмотрены вопросы долговечности модифицированных материалов и бетона на их основе, а 9 глава посвящена технико-экономическим обоснованиям технологии модификации пористого заполнителя и технологии бетона на его основе.

Автор защищает: - рабочие гипотезы о работе цементной матрицы в лёгком бетоне как балки под нагрузкой, а также о неодновременности отвердевания и о неоднородности /несоответствия/ свойств её. Обращается внимание на необходимость минимизации величины водопоглощения пористого заполнителя и градиентов водосодержания цементной матрицы в лёгком бетоне;

-технологию /гидрофобизация, кольматация, оплавление/ заполнителя /азерита, золоаглопорита, керамзита, термолита/ для бетона и научно-техническую информацию о их свойствах;

-технологию бетона на модифицированных заполнителях;

-результаты исследований по улучшению структуры и повышению долговечности бетона на модифицированном заполнителе;

-опыт заводского изготовления модифицированного заполнителя и изделий из бетона на его основе.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Создание качественных композитных материалов привлекало пристальное внимание В.Г.Скрамгаева, Н.А.Попова, М.З.Осмонова, И.А.Иванова, В.И.Соломатова и многих других. Ими показано, что структура лёгкого бетона определяется качеством цементной матрицы, заполнителя и зоны их контакта. Качество цементной матрицы изучено детально и найдены способы и приёмы управления ею. И всё же преждевременно говорить об окончательном решении этого вопроса, так как потенциальные возможности этой системы ещё полностью не использованы. Довольно подробно, но всё ещё недостаточно, изучено влияние физико-механических свойств заполнителя, особенно пористого, на качество лёгкого бетона. В свою очередь, физико-механические свойства заполнителя в значительной мере определяются его средством к воде. А применяемые природные и искусственные заполнители для бетона не только гидробильны, но и имеют капиллярно-пористую структуру. Они погло-

ляют воду не только находясь в ней, но и из твердеющего цементного теста. При этом пористый наполнитель набухает, а цементное тесто, теряя воду затворения, уменьшается в объёме. Эти деформации составляющих лёгкого бетона разного знака и вызываемые ими напряжения - один из источников раннего нарушения структуры его. Они позволяют нам выдвинуть рабочую гипотезу о том, что твердеющая матрица в лёгком бетоне работает как балка на растяжение при изгибе. Здесь в качестве споры выступает уменьшающийся в объёме цементный камень в межзерновом пространстве заполнителя, а в качестве изгибающей нагрузки - увеличивающееся в объёме зерно пористого заполнителя.

По В.А.Дорфу и В.Г.Довжику вода затворения распределяется между составляющими бетона за счёт капиллярных сил, действующих как в заполнителе  $/P_3/$ , так и в растворной части  $/P_ц/$  с учётом величины атмосферного давления  $/P_a/$ :

$$W = /P_3 - P_ц/ : /P_3 - P_ц + P_a/.$$

За счёт поглощения заполнителем изменяется количество воды затворения в цементной матрице, т.е. в любом рядом расположенном элементарном объёме её между соседними зёрнами заполнителя  $/l/$  существуют градиенты водосодержания, так как  $W = f(l) \neq const$ . Тогда, при равном содержании вяжущего в каждом элементарном объёме матрицы  $/Ц = f(l) = const/$ , должны существовать и градиенты водовяжущего отношения:  $В/Ц = f(l) \neq const$ . С учётом работ А.Ф.Полака это является предпосылкой наличия градиентов концентрации новообразований  $/С/$  вяжущего:

$$C = C_\infty - (K \xi \delta S_0) : (D \cdot t) \neq const,$$

где:  $C_\infty$  - концентрация насыщения;  $\xi$  - масса вяжущего;  $\delta$  - толщина диффузионного слоя;  $D$  - коэффициент диффузии;  $S_0$  - удельная поверхность вяжущего;  $K$  - постоянная.

Если существуют градиенты концентрации новообразований, то кинетика созревания их в разных зонах матрицы различна. А по М.М.Сичёву между кинетикой образования новых фаз и возможностью отвердевания системы существует определённая связь.

Учитывая это, мы выдвигаем гипотезу о неодновременности отвердевания каждого рядом расположенного элементарного объёма цементного теста:  $C_\infty = f(c) = f(l) \neq const$ . Без учёта этого явления при изготовлении лёгкого бетона невозможно решить проблему улучшения его качества. Практическая важность учёта гипотезы в раскрытии ещё одного источника дефектности

структуры бетона. Неодновременность отвердевания соседних объёмов матрицы - это, прежде всего, длительная "живучесть" системы, так как последующему отвердевающему слою мешает предыдущий отвердевший, это сдвиг слоёв друг относительно друга.

По данным В.И. Сорскера, Н.М. Беллева, В.Г. Скрамтаева и др. прочность матрицы, при прочих постоянных параметрах, определяется величинами В/Ц и концентрации новообразований / С /:  $R_{\Sigma} = A \cdot R_{\Sigma} / \text{Ц} / \text{В} - \text{В} /$ ,  $R_{\Sigma} = 100 / 25 \cdot \text{С} - \text{I} /$ . Если В/Ц  $\neq \text{const}$  и С  $\neq \text{const}$ , то каждый элементный объём матрицы имеет разную прочность, т.е.  $R_{\Sigma} \neq \text{const}$ . Учитывая это, нам представляется правомочным выдвинуть рабочую гипотезу о неоднородности /несоответствии/ свойств соседних элементных объёмов матрицы строительных композитов. Все физико-механические свойства элементных объёмов цементного камня в пространстве между рядом расположенными зёрнами пористого заполнителя должны изменяться по кривым, отвечающим формуле:

Предложенные нами гипотезы требуют объективных доказательств. Однако, неоднозначность деформаций составляющих лёгкого бетона, неодновременность отвердевания цементного теста и неоднородность свойств цементного камня - это следствие, а причина - водопоглощение заполнителя и наличие градиентов водосодержания в цементной матрице лёгкого бетона. Поэтому одна из важнейших задач - минимизация величин водопоглощения пористого заполнителя и градиентов водосодержания матрицы.

В качестве одного из радикальных путей решения этой задачи мы рекомендуем применение заполнителя, который бы поглощал минимальное количество воды затворения. Тогда, по данным П.А. Ребиндера статический характер отвердевания цементного теста позволит возникнуть новообразованиям с равнопрочными связями и получить цементный камень с однородными свойствами. Однако, сегодня практически нет исследований в области совершенствования технологии получения гидрофильных заполнителей с минимальной величиной водопоглощения. К этому можно придти пока только с помощью модификации заполнителя или исходного сырья для него. Цель модификации - снижение величины водопоглощения пористого заполнителя путём придания ему водоотталкивающих свойств, оплавления его поверхности или коагуляции пор и капилляров.

Известны немногочисленные исследования в области гидрофобизации заполнителей для бетона, разработки которых были частично

завершены уже в 1967 г. К ним относятся данные А.В. Лукова, А.А. Паченко, А.А. Крупа, А.В. Волженского и других по гидрофобизации перлита, стекловолокна, тонкокомлотых и других заполнителей. За рубежом, во Франции и в США с 1970, в Англии с 1971 и в Германии с 1975 г., исследования ведутся, в основном, в области гидрофобизации пористых заполнителей для бетона. В области получения заполнителей с оплавленной поверхностью известны работы М.И. Рогового, Г.С. Бурлакова и др.

В исследованиях принят искусственный пористый заполнитель: керамзит, аглопорит, азерит, термолит. Вид активных веществ для модификации исходного сырья и заполнителя выбран по литературным данным и по договору с "Химпром" с целью оценки эффективности модификации гидрофобизаторами нового поколения. Эффективность модификации оценивали по величине водопоглощения заполнителя при полном погружении или капиллярном подсосе в воде или в среде бетона, а также по изменению физико-механических свойств лёгкого бетона на его основе.

Приготовленные рабочие растворы /эмульсии, суспензии/ активных веществ соответствующей концентрации подаются в мешалку или смешиваются с зёрнами заполнителя. Смешивание окунанием или опрыскиванием выбирается в зависимости от вида заполнителя и его технологии. При этом, величина водопоглощения модифицированного заполнителя около 3% по массе считается достаточной. И потому длительность физического соединения активного вещества и заполнителя различна.

Сушка смешанного с гидрофобизатором заполнителя обязательна. В процессе сушки кремнийорганические жидкости превращаются в водоотталкивающую плёнку, а активизатор оплавления мигрирует к поверхности зёрен заполнителя и скапливается там. Температура рабочей эмульсии или выходящего из холодильника искусственного заполнителя 80...90°C обеспечивает сушку горячего заполнителя за счёт собственного тепла и не требует дополнительных сушильных установок.

Постоянное перераспределение воды затворения на границе раздела с заполнителем предопределяет и определённый характер распределения воды затворения в самой матрице. В ней в разное время, рис. 1, изменится водосодержание  $W$  и  $W_c$ .

В ранние сроки структурообразования лёгкого бетона пористый заполнитель поглощает воду затворения из цементного теста и набухает, увеличиваясь в объёме. Твердеющее же цементное тесто

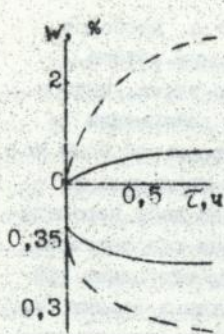


Рис. 1

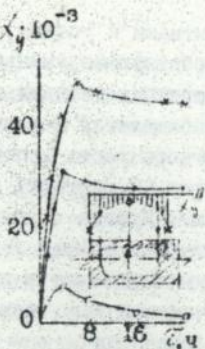


Рис. 2

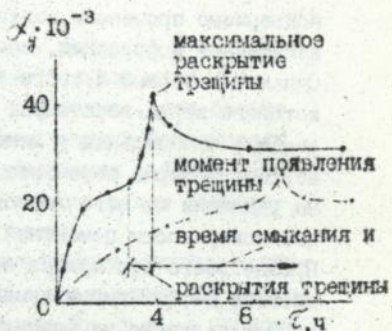


Рис. 3

$\nabla C_{H_2O}, \text{ \%}/\text{мм}$

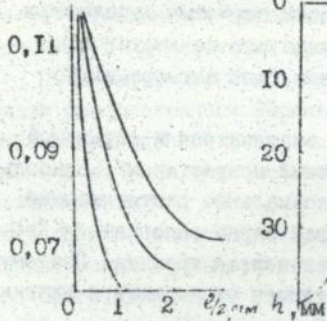


Рис. 4

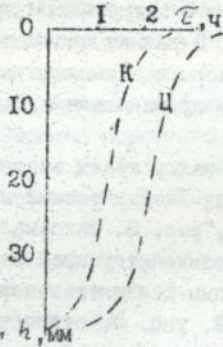


Рис. 5

$\Delta V, \text{ мл}/\text{ч}$

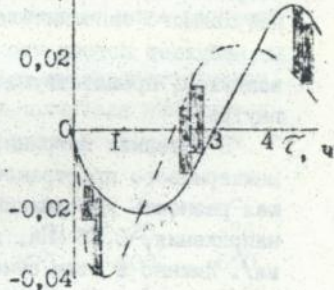


Рис. 6

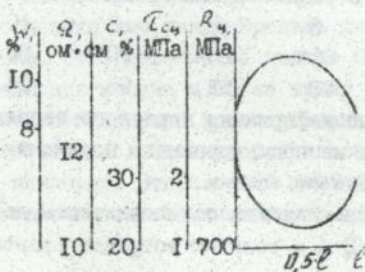


Рис. 7

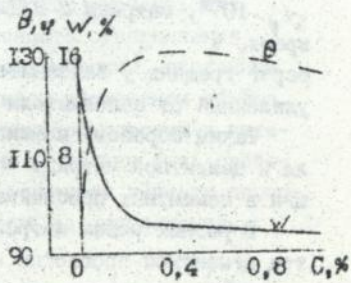


Рис. 8

подвержено процессам садиментации и усадки, т.е. наоборот, испытывает деформации, способствующие уменьшению объёма. Однако, в первые 4...6 ч твердения цементного теста, внутри которого зёрна керамзита, наблюдаются только деформации усадки: минимальные у цементного теста в центральной зоне поверхности зерна керамзита, рис. 2 /кругок/ и максимальные - на удалении от него /крестик/. Кривая с точкой даёт перемещение поверхности цементной матрицы у края зерна заполнителя. Прежде всего эти кривые свидетельствуют о существовании градиентов деформаций в цементной матрице, так как в разных сечениях величина их разная. Кроме того, они подтверждают справедливость гипотезы о том, что цементная матрица в присутствии пористого заполнителя работает как балка на растяжение при изгибе. По середине усадке цементной прослойке препятствует заполнитель, а по краям - свободно уменьшающийся в объёме опора из цементного теста в межзерновом пространстве ещё не набухающего заполнителя. В ранние сроки пористый заполнитель не набухает потому что поры и капилляры его колыматированы воздухом, препятствующем проникновению воды затворения во внутрь.

В сечениях матрицы, между краем заполнителя и серединой межзернового пространства /между точкой и крестиком/, наибольшая разность деформаций, рис. 2. Максимальные растягивающие напряжения, 0,25 МПа, возникают у края зерна заполнителя /точка/. Именно в этом сечении появляется первая трещина. Поэтому характер кривой с точкой, рис. 3, отличен от характера других кривых с кругком и крестиком, рис. 2.

Работа матрицы при изгибе подтверждается разными высотами берегов трещины. Так, относительные деформации перемещения,

$\delta_y \cdot 10^{-3}$ , матрицы с В/Ц=0,5 в разное время составили:				
время, ч	5	6	8	10
берег трещины у заполнителя	68	85	90	89
удалённый от заполнителя	78	92	95	94

Таким образом, влажностные деформации пористого заполнителя и цементной матрицы - одна из причин раннего появления трещин в цементных прослойках лёгкого бетона.

В разных зонах матрицы /от контакта с заполнителем до центра цементной прослойки -  $\frac{L}{2}$  / в реакцию вступает разное количество воды затворения, т.е. существует градиенты химически связанной воды / $\alpha_{\text{св}}$ / при толщине матрицы 2, 4 и 6 мм, рис. 4.

Сроки схватывания цементной матрицы у контакта с затолнителем /К/ всегда опережают таковые в центральной зоне /Ц/, рис. 5. Различие в сроках схватывания тем больше, чем больше водоцементное отношение, величина водопоглощения заполнителя и др. Этим доказана объективность существования рабочей гипотезы о неодновременности отвердевания каждого рядом расположенного элементного объёма цементного теста.

Интенсивность изменения объёмных деформаций матрицы у контакта /пунктирная линия/ и в центре /сплошная/, рис. 6, свидетельствует о неоднократном изменении знака их, т.е. о возможности смещения элементных слоёв друг относительно друга и о возникновении, в связи с этим, касательных напряжений сдвига между соседними слоями. Это ещё одна из причин раннего зарождения дефектности структуры лёгкого бетона. Изложенная наследственность в разнице физико-механических свойств цементного теста у контакта с заполнителем и на удалении от него распространяется и на цементный камень, рис. 7.

Показатели свойств цементной матрицы в пространстве между рядом расположенными зёрнами пористого заполнителя изменятся по вышеприведённой формуле /с. II/, а величины коэффициентов зависят от ряда технологических факторов:

коэффициенты	a	b	c
водосодержание цементного теста, %	17	26	-26
пластическая прочность теста, МПа	370	-600	600
прочность цементного камня, МПа	1,36	-1,04	1,04

В решении проблемы улучшения качества важнейшая роль принадлежит оптимизации структуры лёгкого бетона. Микроструктура его должна быть столь оптимальной, чтобы проявился комплекс наилучших показателей технико-экономических свойств. Для этого необходимо ликвидировать динамичность отвердевания матрицы. Отвердевание её должно быть статическим, спокойным и проходить в одно и то же время в каждом элементном объёме. Для этого градиенты водосодержания цементной матрицы и вытекающие отсюда градиенты других свойств её должны быть сведены к минимуму. Этого можно достичь применением лёгкого пористого заполнителя с минимальной величиной водопоглощения

Противокапиллярное давление достигается гидрофобизацией заполнителя кремнийорганическими жидкостями, лучшая из которых 136-41 или её 40%-ная водная эмульсия КЭ-30-04. Получить оплавленную поверхность пор и капилляров можно модификацией исходного сырья до процессов обжига. Для кремнистых опок лучшими модификаторами являются углекислый натрий, отходы капролактонового производства и др. Кольматируют поры и капилляры заполнителя водоцементной суспензией или водным раствором жидкого стекла. В качестве естественно модифицированного сырья принят ил дноуглубления Чёрного моря.

Концентрация водной эмульсии оказывает существенное влияние на угол смачивания и на величину водопоглощения заполнителя. Исходя из максимального угла смачивания и минимальной величины водопоглощения модифицированного керамзита за оптимальную принята водная эмульсия 136-41 /бывшая ПЧК-94/ концентрацией 0,25% или КЭ-30-04 концентрацией 0,5% в пересчёте на 100%-ную жидкость, рис. 8.

Свойства гидрофобизированного заполнителя: прочность при сжатии, истинная и насыпная плотность, объём зёрен в куске и межзерновая пористость остаются такими же, как и до модификации. Другие же свойства, особенно те, которые определяются таким фактором как средство к воде, отличны от свойств обычного заполнителя. Гидрофобизированный на заводах искусственный пористый заполнитель проходит ряд технологических переделов: хранится на складах, транспортируется и пересылается по тачкам, бункерам, проходит процесс перемешивания в бетономешалке, а также укладку и уплотнение бетонных смесей, где движется заполнитель в среде цементного теста. Даже после этого водопоглощение гидрофобизированного керамзита всё ещё ниже, чем у обычного в 2,2...16,5 раза. При хранении на открытом складе ДСК-1 гидрофобизированный керамзит в дождливую погоду поглощает влаги меньше обычного в 3,4...4,2 раза. Это позволяет работать с более однородным по влажности модифицированным /-----/ заполнителем сравнительно с обычным /- - -/, рис. 9. Гидрофобизация нивелирует величины водопоглощения /2,5...4,5%/ и капиллярного подсоса /1,4...2,1%/ заполнителя независимо от качества его структуры и величины средней плотности.

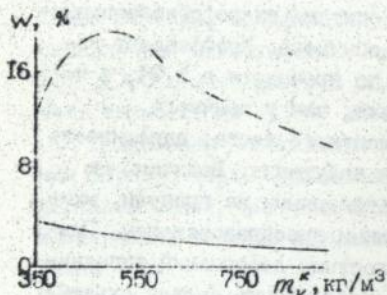


Рис. 9



Рис. 10

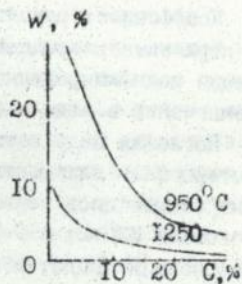


Рис. 11

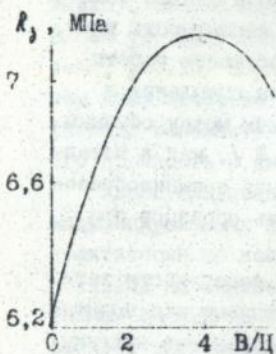


Рис. 12

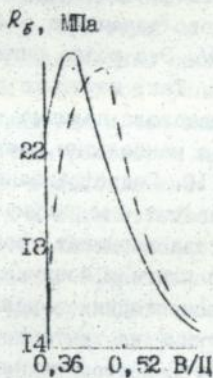


Рис. 13

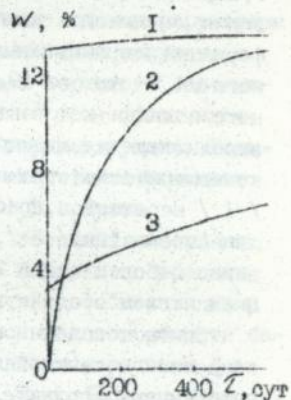


Рис. 14

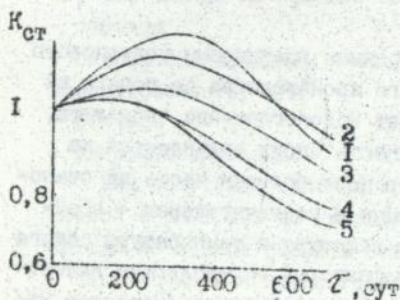
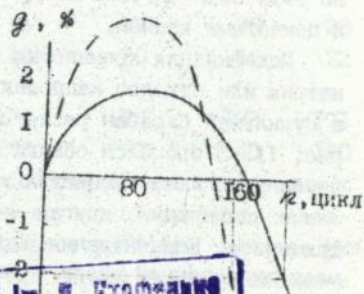


Рис. 15



АНБ им. В. Вукобратовича  
АН УРСР  
Рис. 16

Коэффициент размягчения /по 57 опытам/ гидрофобизированного керамзита в среднем на 20% выше обычного. Коэффициент вариации модифицированного керамзита по прочности в 1,94, а по размягчению в воде - в 1,51 раза ниже, чем у обычного.

Поглощая воду затвердения из цементного теста, заполнитель претерпевает влажностные деформации набухания. Величины их контролировались тензодатчиками, наклеенными на гранулы, микроскопами УММ-21 и Р-12, механическим преобразователем. Гидрофобизация сводит к минимуму влажностные деформации заполнителя в твердеющем цементном тесте. После конца сроков схватывания цементного теста объемные изменения гидрофобизированных гранул в 4 раза меньше, чем обычных. В период сроков схватывания цементного теста коэффициент вариации влажностных деформаций модифицированного керамзита в 4,3 раза меньше обычного /4,5% вместо 19,3%. Это резко снижает вероятность раннего появления дефектов. Так, изучение совместности работы заполнителя и матрицы показало наличие трещин сцепления и концентрических трещин с наибольшим раскрытием между обычным / 1 / керамзитом, рис. 10. Гидрофобизация / 2 /, как и металлические шайбы / 3 /, сводит к минимуму раннее трещинообразование и более чем в 2 раза повышает стойкость образцов при циклическом воздействии влаги и воздуха.

Опыты показали резкие отличия в рельефе поверхности затвердевшей цементной матрицы на контакте с обычным и с модифицированным заполнителем. В первом случае поверхность матрицы "бугристая", во втором - гладкая. А согласно существующей теории прочности, чем более "бугристая" поверхность контакта, тем ниже адгезия этих материалов. Очевидно поэтому значительно выше силы адгезии между гидрофобизированным заполнителем и цементным камнем.

Модификация кремнистых опок водными растворами углекислого натрия или отходов капролактамового производства до подачи их в сушильный барабан резко сокращает водопоглощение термолита, рис. 11. В процессе обжига поверхность опоки оплавляється на глубину до 2 мм. Меняется характер пор: большая часть их становятся замкнутыми, другая - открытыми и незначительная - свободными. Концентрация активного вещества и температура обжига модифицированной опоки - основные факторы, определяющие качество термолита. Одинаковое водопоглощение термолита /например 3%/ можно получить при концентрации модификатора 2,5% и температуре

обжига 1250°C, а также при концентрации 23% и обжиге 950°C. Таким образом, модификация опоки до обжига даёт термолит с оплавленной поверхностью, низким водопоглощением и меньшей на 100...300°C температурой обжига. И что не менее важно - получать термолит по сухому способу из местного низкосортного сырья.

Оплавлению поверхности гранул способствует ил дноуглубления Чёрного моря. Сравнительно с глиной он имеет повышенное содержание солей, выгорающих добавок и потому характеризуется илокерамзит низкими насыпной плотностью и водопоглощением:

глина + ил	100+0	40+60	20+80	0+100
насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	510	420	380	480
водопоглощение, %	17,4	4,6	6	5,4
прочность, МПа	3,9	3,3	2,8	2,3

Кольматация пор и капилляров заполнителя водными растворами жидкого стекла плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup> и суспензиями вяжущего с В/Ц=4 улучшает физико-механические свойства пористого заполнителя, рис.12. Обработка цементной суспензией тем эффективнее, чем ниже качество заполнителя и чем выше марка вяжущего. Модификация заполнителя водным раствором жидкого стекла повышает его прочность и снижает водопоглощение в 1,5...2раза.

Удобоукладываемость и водопотребность бетонных смесей на модифицированных пористых заполнителях до настоящего времени практически не исследована. Эффективность гидрофобизации нами показана по изменению удобоукладываемости и водопотребности бетонных смесей на обычном и на модифицированном керамзите без добавок и с добавкой суперпластификатора. Гидрофобизация заполнителя позволяет вывести смеси без добавок на уровень подвижности смесей с добавками суперпластификаторов:

вид добавки	нет	НИЛ-20	НИЛ-10	С-3	10-30
Кк, см, смесей на граммах:					
- обычном	2	16	17	20	20
- гидрофобизированном	18	19	20	18	22
водопотребность, л/м <sup>3</sup> :					
- обычном	220	176	175	183	171
- гидрофобизированном	172	153	150	143	150

Для получения одной и той же удобоукладываемости бетонных смесей с Кк=1...3 см гидрофобизация крупного пористого заполнителя позволяет снизить величину водопотребности смеси на 22%. А гидрофобизация крупного заполнителя совместно с применением суперпластификатора снижает водопотребность на 32...37% средни-

тельно с водопотребностью смесей на обычном заполнителе без добавок в воде затворения.

Модификация заполнителя существенно повышает однородность бетонных смесей по водопотребности и по удобоукладываемости: коэффициент вариации ниже в 1,4...1,6 раза.

Изучены пластическая прочность и расслаиваемость смесей на модифицированном заполнителе. Последние более чувствительны к расслаиваемости.

Прочность свежеотформованного бетона в возрасте до 1 сут на модифицированном гравии ниже, чем на обычном, но на 20...60% выше, чем с кремнийорганической добавкой в воде затворения. При постоянных расходах твердых компонентов и при постоянной удобоукладываемости смесей гидрофобизация крупного пористого заполнителя позволяет получить более высокую прочность зрелого бетона при сжатии на 10...15% для конструкционного и на 13...17% для конструкционно-теплоизоляционного, а также на 20...60% для крупнопористого бетона.

Прочность зрелого бетона и рост её во времени определяются качеством исходных материалов, составом, условиями эксплуатации, технологическими и другими факторами. Эффективность модификации тем выше, чем больше расход пористого заполнителя или меньше расход цемента. Водоцементное отношение изменяет прочность бетона как и на обычном гравии, но гидрофобизация последнего смещает оптимум В/Ц на 16...23% в меньшую сторону, рис. 13. Наличие добавок сохраняет общие закономерности изменения прочности бетона при сжатии на модифицированном заполнителе.

По мере увеличения времени приготовления бетонные смеси становятся всё более жесткими из-за поглощения воды затворения пористым заполнителем. Смеси же на гидрофобизированном гравии тем качественнее, чем длительнее перемешиваются из-за всё большего разжижения растворной составляющей и отсутствия поглощения воды затворения заполнителем. Время приготовления смесей на гидрофобизированном заполнителе должно быть таким же, что и на обычном. Без потери основных свойств гидрофобизация крупного пористого заполнителя позволяет предварительно выдерживать бетонные смеси на 30 мин дольше, чем такие же на обычном гравии.

Режимы уплотнения смесей на модифицированном заполнителе подчиняются тем же законам, что и на обычном, только оптимальное время уплотнения их на 1...2 мин короче, т.е. отмечена повышенная чувствительность к вибрации смесей на модифицирован-

ном заполнителе. Независимо от условий твердения /"нормальные", пропаривание, электроспрогрев, электрообогрев и др./ прочность бетона на модифицированном крупном пористом заполнителе на 13...19% выше, чем на обычном.

С целью оценки технологической дисциплины испытаны по 57 кубов с ребром 15 см на обычном и на модифицированном керамзитовом гравии. Модификация, вследствие стабилизации свойств самого заполнителя и бетонной смеси, позволяет значительно повысить однородность бетона по средней плотности и по прочности, что создаёт реальные предпосылки для улучшения технико-экономических характеристик изделий. Коэффициенты вариации средней плотности и прочности керамзитобетона в 1,25...2 раза ниже, чем бетона на обычном заполнителе. Рост прочности бетона на модифицированном заполнителе подчиняется тем же закономерностям, что и на обычном.

Из механических свойств бетона изучены: призмная прочность, модуль упругости и деформации, прочность на растяжение осевое и при изгибе, сопротивление раскалыванию и сцепление бетона с арматурой, ползучесть. При постоянном расходе твёрдых компонентов и равноподвижных смесях гидрофобизация способствует повышению механических свойств бетона в среднем на 12%. При равной прочности на сжатие практически одинаковы и остальные механические свойства бетона независимо от того изготовлен он на обычном или на модифицированном заполнителе.

Теплопроводность лёгкого бетона, высушенного до постоянной массы, как на обычном, так и на модифицированном крупном пористом заполнителе практически одинакова. Величина её в существенной мере зависит от остаточной влажности бетона, а гидрофобизация снижает её на 20...26%. Поэтому коэффициент теплопроводности керамзитоперлитобетона класса В5 на 21...38% ниже сравнительно с идентичным бетоном на обычном гравии.

Разработка, исследование и внедрение проведены с целью определения возможности использования модифицированного заполнителя для изготовления натуральных конструкций. Испытали преднапряжённые балки 10х20х290 см с высокопрочной проволокой периодического профиля. Их прочность, жёсткость и трещиностойкость идентичны контрольным. Это позволило запроектировать и исследовать утеплённые и комплексные плиты 1,5х6, 2х6, 3х6 м и др. для промышленного и сельского строительства. Прочность, жёсткость и трещиностойкость изгибаемых преднапряжённых железобетонных элементов на

модифицированном заполнителе совпадают с расчётными, подсчитанными по СНиП 2.03.01-84.

Изготовление железобетонных изделий не требует переналадки постов на действующих заводах сборного железобетона. В надбункерное отделение вместо обычного должен быть подан модифицированный заполнитель. Для заводов сборного железобетона приведены особенности проектирования состава бетона на модифицированных заполнителях.

Свойства бетона, физически взаимодействующего с водой, выгодно отличаются в случае применения модифицированного заполнителя, что позволяет: уменьшить величины капиллярного всасывания бетона классов В2,5...В30 на 10...86%, сорбционного увлажнения на 5...10%, водопоглощения на 15...32%, остаточную влажность на 20...36%, величину усадки на 20...90%, повысить в 2 раза стойкость бетона при попеременном увлажнении и высушивании, в 1,3 раза водонепроницаемость и в 1,4...2,38 раза морозостойкость.

Стойкость заполнителя в агрессивных средах определялась после 4 ч кипячения и после хранения в них в течение 1 года. Оценивалась она по изменению коэффициентов стойкости и размягчения, водопоглощению и потерям при прокаливании. Во всех случаях у гидрофобизированного керамзита эти величины выгодно отличаются сравнительно с обычным и потому отмечена повышенная его водо-, соле-, щёлоче- и кислотостойкость при циклических нагревании и охлаждении, увлажнении и высушивании, замораживании и оттаивании.

Стойкость гидрофобного покрытия определяет стойкость пористого материала как засыпки-изолятора или как заполнителя для бетона. Она определялась кипячением или попеременным насыщением модифицированного заполнителя в воде или в щелочных растворах и высушиванием, рис. 14. После 4...6 ч кипячения качество гидрофобной плёнки резко понижается, а затем стабилизируется. Так, если до кипячения водопоглощение гидрофобизированного керамзита в 21,7 раза ниже обычного, то после 65 ч кипячения - в 1,26 раза. После практически полного насыщения в течение 100 сут керамзит сушился до постоянной массы и погружался в воду на 1 ч. Циклическое увлажнение в воде обычного гравия /1/ не изменяет водопоглощение, а гидрофобизированный /2/ даже на 700-е сутки не достигает величин обычного. И ещё более стойка гидрофобная плёнка при циклическом увлажнении керамзита в щелочной среде с  $pH=11...12$  /3/. В пропаренных и нормально твердеющих кубках с

ребром 10 см 11-летнего возраста гидрофобность сохранилась.

Полигидросилоксановая плёнка на заполнителе не теряет свойств гидрофобности при нагреве до 350°C, а после нагрева до 500...550°C - гидрофобность исчезает.

Многочрезные чередования влаги и воздуха, положительных и отрицательных температур приводят к объёмным деформациям компонентов бетона разных знака и величины. Из-за этого нарушается структура и понижается долговечность его. Стойкость цементного камня и раствора в этих условиях изучена достаточно полно, стойкость же пористого заполнителя и его роль в обеспечении долговечности лёгкого бетона необходимо изучить. После 50 циклов попеременного увлажнения и высушивания 7...8% зёрен керамзита разрушилось, водопоглощение увеличилось на 16%, а коэффициент размягчения и стойкости уменьшились, соответственно, на 9% и 16%. Модифицированный керамзит в 2,5 раза более стоек. Даже спустя 7 лет обычный заполнитель поглощает воды всё ещё на 36% больше, чем гидрофобизированный, что свидетельствует не только о высокой стойкости модифицированного керамзита в условиях циклического воздействия влаги, но и о высокой сохранности гидрофобной плёнки:

количество циклов, шт./время, мес	0/0	10/30	19/57	28/84
водопоглощение, %, заполнителя:				
- обычного	4,7	5,3	6,4	7,1
- гидрофобизированного	1	3,4	4,6	5,2

Морозостойкость модифицированного /под чертой/ заполнителя в 1,4...3 раза выше обычного /над чертой/ в циклах:

фракция, мм, заполнителя	5...10	10...20
азерит	36/71	31/70
золааглопорит	-	90/150
термолит	-	5/15
керамзит: одесский	11/21	8/19
астраханский	-	130/225
калининградский	-	44/90

Важнейшей задачей современного строительства является повышение долговечности конструкций и сооружений с учётом снижения капитальных затрат. Особое значение приобретает повышение долговечности железобетонных конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред стационарного и знакопеременного характера, так как по своей природе этот материал чрезвычайно активен к ним. Модификация исходных компонентов бетона - это возможность поду-

чения дополнительного слоя, предотвращающего или замедляющего доступ агрессивной среды вглубь изделия. Это предопределяет и более высокую водостойкость бетона и является одним из радикальных средств повышения соле- и щёлочестойкости лёгкого бетона. Так, на рис.15 приведена водостойкость бетона на керамзите, модифицированном В/Ц=4 /1/, 136-41 /2/, СНВ /3/, ЦДБ /4/ и без модификации заполнителя /5/.

Модификация крупного заполнителя позволяет повысить морозостойкость лёгкого бетона на 16...61%, а тяжёлого - на 27...98%, рис.16.

Стойкость лёгкого бетона определяется не только высокой стойкостью отдельно заполнителя и раствора, но и совместностью их работы. Модификация заполнителя с целью придания ему противокapиллярного давления эффективнее коагуляции пор и капилляров цементной суспензией или жидким стеклом. Она улучшает совместность работы с раствором в условиях циклического воздействия влаги и воздуха, в результате чего стойкость возрастает более чем в 2 раза.

Разработаны инструкции по технологии приготовления модификаторов, по технологии модификации исходного сырья для заполнителя и заполнителя для бетона и по технологии бетона на модифицированных заполнителях.

Себестоимость 1 м<sup>3</sup> термолита на 26 коп ниже себестоимости 1 м<sup>3</sup> керамзита в том же регионе. Себестоимость заполнителя модифицированного кремнийорганической жидкостью 136-41 повышается на 18...21 коп. Однако, возможность значительного изменения его содержания, снижение расхода воды, добавок и вяжущего в бетоне, а также снижение расхода электроэнергии на уплотнение смеси способствуют удешевлению лёгкого бетона в целом. Расчётный годовой экономический эффект от внедрения модифицированного керамзита с целью повышения долговечности и улучшения эксплуатационных свойств железобетонных изделий составляет 4,1...6,2 руб на 1 м<sup>3</sup> лёгкого бетона.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны научные основы модификации заполнителя, позволяющие получить бетон с улучшенными строительно-эксплуатационными свойствами и технико-экономическими показателями. Показана роль пористого заполнителя в структурообразовании лёгкого бетона. Выдвинуты рабочие гипотезы о работе цементной матрицы в лёгком бетоне как балки на растяжение при изгибе, о неодновременности отвердевания и о неоднородности свойств каждого рядом расположенного элементного объёма её. Доказана объективность существования их. Показано, что деформации усадки и набухания составляющих лёгкого бетона - одна из основных причин раннего зарождения дефектности структуры его. Этому же способствует и неодновременность отвердевания элементных объёмов цементной матрицы. Указано на необходимость применения заполнителя с минимальной величиной водопоглощения и, за счёт этого, минимизации градиентов водосодержания цементной матрицы.

Экспериментально доказана необходимость модификации заполнителя с целью придания ему противочапиллярного давления /гидрофобизация/ или создания замкнутой пористости /кольматация, оплавление/.

2. Разработана технология модификации лёгкого пористого заполнителя. Выбран вид активных веществ. Изучено природное модифицированное сырьё - ил морских водоёмов - и разработана технология илокерамзита. Технологические процессы защищены 11 авторскими свидетельствами.

Изучены свойства модифицированного заполнителя. Гидрофобизация снижает водопоглощение заполнителя в 2,2...16,5 раза. Кольматация пор и капилляров повышает прочность заполнителя и снижает величину водопоглощения в 1,5...2 раза. Коэффициент размягчения выше на 18...35%, а морозостойкость - в 1,4...2,4 раза.

Модификация крупного пористого заполнителя марок 400...800 повышает его однородность по водопоглощению, капиллярному подосу, влажностным деформациям и по коэффициенту размягчения. Коэффициент вариации по этим свойствам модифицированного заполнителя в 1,5...4,3 раза ниже, чем у обычного.

Модификация непригодных кремнистых опок Каменнорекского месторождения позволила получить термолит, отвечающий требованиям нормативных документов к заполнителям для бетона. Ил дноуглуб-

лений водоёмов стал исходным сырьём для получения илокерамзита. Создан новый класс пористых заполнителей для лёгкого бетона.

3. Применение модифицированного заполнителя сводит к минимуму величины его водопоглощения и градиенты водосодержания цементного теста. Элементные объёмы последнего отвердевают практически в одно и то же время. За счёт этого структура цементной матрицы имеет следующие особенности: более полная гидратация вяжущего и выше степень уплотнения связующей массы, не возникает раннего трещинообразования и меньшая доля наружной трещинами матрицы, меньшая общая пористость бетона, ликвидирована рельефность контакта, увеличена площадь контакта матрицы с заполнителем и силы адгезии между ними выше в 1,4...2,9 раза.

4. Разработана технология лёгкого бетона на модифицированных пористых заполнителях. Изучены основные свойства бетонных смесей и бетона. По изменению удобоукладываемости бетонных смесей гидрофобизация только крупного пористого заполнителя даёт такой же эффект, что и введение в их состав суперпластификаторов с водой затворения. Водопотребность бетонных смесей понижается на 22...35%, а В/Ц - на 17...23%.

При постоянной прочности бетона модификация заполнителя снижает расход цемента на 7...15%, а при постоянном расходе цемента механические свойства выше на 10...17%. Прочность, жёсткость и трещиностойкость изгибаемых преднапряжённых элементов совпадают с расчётными и отвечают требованиям нормативных документов. Улучшены теплотехнические свойства лёгкого бетона.

Существенно повышается однородность бетонных смесей по водопотребности и удобоукладываемости, а также бетона по прочности и водостойкости. При модификации заполнителя коэффициент вариации по этим показателям для смесей ниже в 1,4...1,6 раза, а для бетона - в 2 раза.

5. Исследована долговечность исходного модифицированного сырья и бетона на его основе. Определена сохранность водных эмульсий /суспензий, растворов/ для модификации заполнителя. Показана высокая стойкость гидрофобного покрытия /в возрасте до 11,5 лет/. Изучена стойкость полигидросилоксановой плёнки в воде, растворах солей, щелочей и в других условиях.

Долговечность бетона на модифицированном заполнителе выше долговечности идентичного бетона на обычном заполнителе.

6. Себестоимость  $1 \text{ м}^3$  керамзита после гидрофобизации выше на 1,7...1,9%. Себестоимость  $1 \text{ м}^3$  керамзитобетона на модифицированном заполнителе ниже на 3,5...11,8% сравнительно с равномарочным бетоном с оптимальным количеством добавки в воде затворения.

Эффективность модификации заполнителя определяется более высоким качеством бетона /меньший расход цемента, воды, добавок, меньшая усадка, остаточная влажность и т.п./ и его долговечностью /более стоек против физического стационарного и циклического воздействия жидких сред/. С учётом этого годовой экономический эффект составляет в среднем 5 руб на  $1 \text{ м}^3$  бетона.

Основные публикации по содержанию диссертации

1. Кучеренко А.А., Юкул М.А. О способе введения добавок в бетон. //Матер.Уі науч.-техн.конф. -Ишпінєв.: КИИ, -1970. -С.393...394.
2. Кучеренко О., Нуриченко Л. О долговечности арматуры в бетоне с добавками. //Будівельні матеріали і конструкції. -1971. -№1. -С.47.
3. Кучеренко О., Быровой В. Стойкость обработанного керамзита и керамзитобетона. //Будівельні матеріали і конструкції. -1973. -№5. -С.25...26.
4. Кучеренко А.А., О возможности повышения качества искусственных пористых заполнителей. //Тез.докл.респ.конф. -Киев-Николаев.: -1973. -С.63...64.
5. Кучеренко А.А., Юкул М.А. Влияние предварительной обработки заполнителя растворами солей и ПАВ на свойства бетонной смеси и бетона. //Изв.ВУЗов. -1974. -№1. -С.63...65.
6. Кучеренко А., Быровой В. Набухание и усадка керамзита в структурообразовании бетона. //Будівельні матеріали і конструкції. -1975. -№5. -С.42...43.
7. Кучеренко А.А., Шкрабик И.В. Особенности состава бетона на обработанном керамзитовом гравии. //Тез.докл.всес.конф. -Одесса.: -1975. -С.102...103.
8. Лопатко А.Э., Кучеренко А.А. и др. Исследование преднапряжённых эффективно армированных керамзитобетонных конструкций на малопрочном керамзите. //Тез.докл.респ.конф. -Владивосток.: -1975. -С.21...24.
9. Кучеренко А., Лопатко А., Феофанов А. Керамзитобетонные пролётные конструкции. -Одесса.: Изд-во "Малк", -1975. -134 с.

10. Кучеренко А.А. и др. Улучшение качества керамзита обработкой активными веществами. Тр. ВНИЭСМ "Промышленность керамических строительных материалов и пористых заполнителей" вып. №1. -1976. -С.15...17.

11. Шкрабик И.В., Кучеренко А.А., Шеловалов А.Н. О жёсткости смеси и прочности бетона на обработанном керамзитовом гравии. //Сб.тр. МПС, ВТИСА. -№18. -М.: -1976. -С.13...15.

12. Кучеренко А.А. Свойства керамзита, обработанного растворами активных веществ. //Строительные материалы. -1976. -№1. -С.23...24.

13. Кучеренко А.А. Тепловые установки заводов сборного железобетона. -К.: Вища школа, -1977. -280 с.

14. Кучеренко А.А. Керамзитобетон на гидрофобизированном гравии. //Бетон и железобетон. -1978. -№3. -С.28...29.

15. Кучеренко А.А. Свойства смеси и бетона на обработанном ГТЖ-94 керамзитовом гравии. //Строительные материалы и конструкции. -1978. -№1. -С.37.

16. Кучеренко А.А., выровой В.Н., Шкрабик И.В. Способ обработки лёгкого заполнителя. а.с. 863556. -1981. Бюл. №34.

17. Кучеренко А.А. Стойкость модифицированного заполнителя и бетона на его основе. //Тез. докл. всес. конф. -Ростов н/Д.: -1981. -С.39...41.

18. Кучеренко А.А. и др. Способ изготовления заполнителя. а.с. 992481. -1982. -Бюл. №4.

19. Шкрабик И.В., Ляшенко Т.В., Кучеренко А.А. Исследование удобоукладываемости бетонной смеси и прочности керамзитобетона на гидрофобизированном заполнителе. //Изв. ВУЗов. Стр-во и арх. -Новосибирск.: -1983. -№5. -С.67...70.

20. Кучеренко А.А. Роль качества подложки в структурообразовании водных систем. //Тез. докл. П росп. конф. ч.2. -К.: Наукова думка. -1983. -С.129...130.

21. Кучеренко А.А. Роль пористого заполнителя в структурообразовании бетона. -В кн. Применение цементных и асфальтовых бетонов в Сибири. -Омск.: СибАДИ. -1983. -С.29...34.

22. Кучеренко А.А. и др. Структура бетона на гидрофобизированном керамзитовом гравии. //Строительные материалы и конструкции. -1984. -№1. -С.16.

23. Шкрабик И.В., Кучеренко А.А., Кузьмук Н.В. Морозостойкость модифицированного пористого заполнителя и бетона на его основе. //Тез. докл. всес. НТК. -Ташкент.: -1985. -С.455...456.

24. Кучеренко А.А., Шкрабик И.В., Кузьмук Н.В. Гидрофобизация заполнителя - эффективный способ повышения морозостойкости бетона. //Тездокл.НТК. -Челябинск.; -1985 -С.25. 26.

25. Кучеренко А.А., Парута В.А., Кузьмук Н.В. Способ получения заполнителя. а.с.1174404. -1985. -Бюл.№31.

26. Кучеренко А.А. Теоретические и практические аспекты улучшения качества лёгкого бетона. Докл. 1У национ. конф. по механике композиционных материалов. -София.; Изд-во Бюл.АН. -1985. -С.793...796.

27. Кучеренко А.А. Научные и практические основы улучшения качества строительных композитов. В кн.: Работоспособность композиционных строительных материалов в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов. Тр.Каз.ИИИ. -1985. -С.53...54.

28. Кучеренко А.А., Шкрабик И.В., Кузьмук Н.В. Свойства гидрофобизированного керамзита. Сб.: Местные строительные материалы. -Омск.; ОПИ. -1985. -С.71...75.

29. Кучеренко А.А., Парута В.А., Приказчиков О.И. Способ получения заполнителя. а.с. 1361124. -1987. -Бюл.№47.

30. Кучеренко А.А., Парута В.А. Свойства бетонных смесей на модифицированном керамзите. Сб.: Производство и применение легких бетонов и цементных бетонов в Сибири. -Омск. ОПИ. -1987. -С.50...54.

31. Лопатко А.Э., Кучеренко А.А., Косарева Л.Е. использование железосодержащих отходов в производстве керамзита. //Тез.докл. респ.НТК. -Ашхабад.; "Шым". -1987. -С.208.

32. Кузьмук Н.В., Кучеренко А.А., Шкрабик И.В. Азевитобетон на модифицированном заполнителе. //Тез.докл.НТК. -Ашхабад.; "Шым". -1987. -С.85...86.

33. Лопатко А.Э., Кучеренко А.А., Косарева Л.Е. Свойства керамзитобетона на гидрофобизированном керамзите. //Бетон и железобетон. -1988. -№6. -С.8.

34. Шкрабик И.В., Кузьмук Н.В., Кучеренко А.А. Повышение качества азевитобетона модификацией пористого заполнителя. //Тез.докл. респ.НТК. -Симферополь.; -1988. -С.199...200.

35. Кучеренко А.А., Парута В..., Константинов И.Г. Бетон на модифицированном терюлите. Сб.тр. Работоспособность строительных материалов при воздействии различных эксплуатационных факторов. -Казань.; КХТИ. -1988. -С.53...57.

36. Кучеренко А.А. и др. Безотходные технологии при дноуглублении на морских каналах и в портовых акваториях. //Матер.УИ конф. с межд.участ. -Варна.; -1989. -С.204...11.

37. Кучеренко А.А., Парута В.А., Константинов И.Г. Способ получения заполнителя для бетона. а.с. 1348309. -1987. -Бюл. №40.

38. Кучеренко А.А. и др. Сырьевая смесь для изготовления керамзита. а.с. 1512945. -1989. -Бюл. №37.

39. Кучеренко А.А. и др. Нелинейность свойств лёгких бетонов и факторы, их определяющие. //Тез. докл. всес. НТК. -Сыктывкар.: -1989. -С. 145...147.

40. Кучеренко А.А., Косарева Л.Е., Кузнецова И.И. Арболит на модифицированном древесном заполнителе УП симп по модификации древесины. ПНР. -1989. -С. 121...123.

41. Кучеренко А.А. и др. Физико-механические свойства бетона на модифицированных заполнителях. Сб. р. Резервы прочности бетонных и железобетонных конструкций. -Киев.: -1989. -С. 14...17.

42. Лавренко Л.И., Парута В.А., Кучеренко А.А. Стойкость бетона на модифицированных заполнителях. Сб. Работоспособность композиционных строительных материалов при воздействии эксплуатационных факторов. -Казань. -1989. -С. 59...62.

43. Кучеренко А.А., Кузьмук Н.В., Косарева Л.Е. Пути улучшения структуры бетона. Там же. -С. 104...108.

44. Лавренко Л.И., Кучеренко А.А., Кузьмук Н.В. Использование новых кремниорганических соединений для повышения долговечности бетона. //Тез. докл. всес. НТК. -Челябинск.: -1990. -С. 127.

45. Кучеренко А.А., Парута В.А. Способ получения пористого заполнителя. а.с. 1530599. -1989. -Бюл. №47.

46. Кучеренко А.А., Лавренко Л.И., Косарева Л.Е. Теоретические предпосылки улучшения качества строительных композиционных материалов. //Тез. докл. всес. НТК. -М.: -1989. -С. 68...69.

47. Кучеренко А.А. и др. Экономия цемента направленной модификацией заполнителя. //Тез. докл. всес. НТК. -Ташкент.: -1990. -С. 73...74.

18. Кучеренко А.А. и др. Эффективность применения модифицированных пористых заполнителей для бетонов. //Тез. докл. респ. семина. -Радивосток.: -1990. -С. 44...47.

49. Косарева Л.Е., Кузьмук Н.В., Кучеренко А.А. Пути ликвидации дефектности структуры бетонного композита. //Сб. Исследование работы и применение в строительстве эффективных элементов и конструкций. -1990. -С. 107.

50. Кучеренко А.А. и др. Оптимизация составов бетонов на модифицированных пористых заполнителях. //Библиограф. указат. депон. рук. вып. 9. -1990.

51. Косарева Л.Е., Кучеренко А.А., Лопатко А.Э. Оптимизация качества шихты в производстве керамзита. Там же.

52. Кучеренко А.А. и др. Способ получения пористого заполнителя. а.с. 1608157. -1990. -Бюл.№3.

53. Кучеренко А.А., Косарева Л.Е., Кузьмук Н.В. Сырьевая смесь для изготовления лёгкого бетона. а.с.1636405. -1991. -Бюл.№11.

54. Кучеренко А.А., Лавренюк Л.И., Парута В.А. Улучшение свойств бетона модифицированием золоаглопорита. //Тез. докл. всес. НТК. -Велгород. : -1991. -С.89.

55. Косарева Л.Е., Кузьмук Н.В., Кучеренко А.А. Техногенные продукты промышленности - источники минерального сырья для производства строительных материалов. //Тез докл. межвед. НТК. АГМИ. -Алчевск. : -1992. -С.189...192.

56. Кучеренко А.А. и др. Способ гидрофобизации пористого заполнителя. а.с.№1689326. Бюл.№41, 1991.

57. Кучеренко А.А. и др. Сырьевая смесь для изготовления керамзита. а.с.№1693212. Бюл.№46, 1991.

58. Кучеренко А.А. и др. Способ получения лёгкого заполнителя. а.с.№1678800. Бюл.№35, 1991.

59. Кучеренко и др. Повышение качества строительных материалов за счёт использования отходов производства и местного сырья. //Тез. докл. НТК. -Челябинск. : -1992. -с.29...30.

60. Кучеренко А.А. и др. Ресурсосберегающие технологии в производстве строительных материалов. //Межвузовский сборник. Казанский ИСИ. -Казань. : -1991. -с.41...44.

Ab 25.815

**AB 25.815**