

**МИНИСТЕРСТВО ВЫЕШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

БОЛТАЕВА НОДИРА ДЖАЛАЛИТДИНОВНА

**Тема: «Исследование свойств бетона с расширяющей добавкой
на основе алуниита для объектов реконструкции городской
застройки»**

ДИССЕРТАЦИЯ

**На соискание академической степени магистра по специальности:
5А 580302 «Комплексная реставрация, реконструкция, эксплуатация
зданий и городских территорий»**

Работа рассмотрена и допускается к
защите зав. кафедрой «Городское
строительство и хозяйство»
_____ к.т.н., доц. Касымова С.Т.
« _____ » _____ 2011г.

Научные руководители:
_____ проф. Тулаганов А.А.
_____ доц. Касымова С.Т.
Научный консультант:

ТАШКЕНТ – 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Задание	
Введение	
ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	
1.1. Известные представления о расширении, физико-механических свойствах и технологии расширяющих вяжущих и бетонов на их основе	
1.2. Отечественный и зарубежный опыт и перспективы применения напрягающих бетонов	
1.3. Выбор рациональных уровней рациональных уровней антисейсмических усилений железобетонный каркасных зданий	
Глава II. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	
2.1. Изучение состояний сырьевой базы с алунитсодержащих пород в республике	
2.2. Характеристика алунитсодержащей породы, портландцементного клинкера, извести и гипса, используемых в экспериментах	
2.3. Методика исследований	
Выводы по главе II	
ГЛАВА III. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ, СВОЙСТВ И ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА НА АЛУНИТОВОМ НАПРЯГАЮЩЕМ ЦЕМЕНТЕ	
3.1. Формирования структуры и физико-механических свойств бетона на различных вяжущих	
3.2. Особенности подбора состава и определение физико- механических свойств бетона на алунитовом расширяющем цементе ..	
3.3. Рациональные области применения бетонов на алунитовом расширяющем цементе и технико-экономическая эффективность их использования в строительстве	
ГЛАВА IV. ПРИМЕНЕНИЕ АЛУНИТОСОДЕРЖАЩИХ НАПРЯГАЮЩИХ ЦЕМЕНТОВ НА ОБЪЕКТАХ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ	
4.1. Техническое состояние здания, расположенного в Хамзинском районе г.Ташкент	
4.1.1. Описание объекта	
4.1.2. Техническое состояние основных строительных конструкции ..	
4.1.3. Инструментальные исследования. Определение прочности строительных материалов и конструкции	

4.2. Замена деревянных перекрытий с использованием керамзитабетона на алунитовом напрягающем цементе	
4.2.1. Некоторые суждения по обоснованности замены перекрытия объекта реконструкции	
4.2.2. Технология замены деревянных перекрытий на монолитный керамзитобетон на алунитовом напрягающем цементе	
4.3. Оценка эксплуатационной надежности и пригодности для эксплуатации обследуемого здания	
Выводы по IV главе	
Общие выводы	
Список литературы	
Приложения	

ВВЕДЕНИЕ

В современном строительстве переходного периода на рыночную экономику перед строительным комплексом во исполнения ряда указов президента Республики Узбекистана И.А.Каримова /1,2,3/ предстоит задача по координальному повышению уровня строительного производства, разработка и внедрение новых строительных материалов и конструкций на их основе, комфортабельности, обеспечения высокой эксплуатационной надежности и сейсмостойкости зданий и сооружений. К числу наиболее актуальных проблем, определяющих научно-технический прогресс в сфере строительства и, прежде всего, в производстве и применении цементных вяжущих и бетонов, относятся: снижении энерго-и материалоемкости производства и строительства, повышение качества до мирового уровня существующих и разработка новых более эффективных строительных материалов и конструкций, интенсификация технологических процессов, широкое использование местного сырья и ресурсов.

По уровню технических и экономических показателей бетон и железобетон по-прежнему остаются основными конструкционными материалами. Они занимают приоритетные места в общей структуре мирового производства строительных конструкций. Поэтому улучшение их строительно-технических характеристик особенно важно и значимо для всего строительного комплекса. Одним из актуальных направлений развития и совершенствования бетона и железобетона является разработка новых подходов и их реализация при получении вяжущих и бетонов нового поколения, обеспечивающих надёжность и долговечность конструкций и сооружений, их экономичность.

Важным резервом в решении этой проблемы и улучшении строительно-технических показателей железобетона является устранение или предельное уменьшение усадочных явлений в бетоне. Усадочные деформации в сочетании с низкой прочностью бетона на растяжение приводят к

образованию и раскрытию трещин в железобетонных конструкциях, повышают их деформативность, снижают долговечность. Проблеме усадки и снижению её влияния на свойства бетона, в особенности в условиях сухого жаркого климата, посвящено много исследований как в нашей стране, так и за рубежом. В то же время традиционные пути уменьшения отрицательных последствий усадки отличаются определённым усложнением технологии бетона и железобетона и не дают радикального решения проблемы.

Развитию научно-технического прогресса строительного комплекса посвящены ряд законодательных документов, таких как постановления Кабинета Министров Республики Узбекистан №42 от 09.09.1999г. «Об изучении зарубежного опыта и внедрения новых технологий в капитальном строительстве» и №305 от 05.08.2000г. «О дополнительных мерах по углублению экономических реформ в капитальном строительстве». Этому вопросу также уделено большое внимание и в Законе об архитектуре и градостроительству в Республике Узбекистан».

Говоря о мировом финансово – экономическом кризисе Президент Республики Узбекистан И.А. Каримов /3/ отметил, что несмотря на все возникшие проблемы и трудности, республике удалось добиться в 2008 году не только стабильного функционирования экономики, но и обеспечить высокие устойчивые темпы его роста. В 2008 году валовый внутренний продукт вырос и составил 109 процентов, темпы роста в промышленности составили 112,7 процента, в том числе в производстве потребительских товаров 117,7 процента, сфера услуг выросла на 21,3%. Устойчивыми темпами развивались и другие важнейшие отрасли экономики: строительство выросло на 8,3%.

Приоритетное значение придавалось строительству и вводу объектов социальной сферы, что позволило реконструировать и осуществить новое строительство 169 профессиональных колледжей на 113,2 тыс. ученических мест и 23 академических лицей на 14,7 тыс. ученических мест. Вновь построено 69 школ капитально реконструированы 582 школы, 184 объекта

детского спорта, 36 сельских врачебных пунктов и 7240 тыс. кв. метров жилья и др.

Одним из основным рычагом дальнейшего развития реконструкция существующих и строительства новых объектов различного назначения, как выше было сказано является научно-технический прогресс: разработка новых эффективных строительных материалов и конструкций изучение их работы в различных условиях, методы расчета по обеспечению надежности, долговечности и сейсмостойкости в условиях землетрясения расчетной интенсивности.

Изучение состояния конструкций и изделий эксплуатируемых зданий выполняется теми же методами и способами, которые используются при контроле качества их изготовления. Однако часто возникают ситуации, когда для эксплуатируемых объектов необходимо изучение реальных условий работы при воздействии внешних факторов. К подобной ситуаций можно отнести, например, случай, когда необходимо оценить работоспособность конструктивной или инженерной системы с учетом отклонения ее параметров от расчетных значения.

Здания и сооружения представляют собой единую систему, состоящую из большего числа элементов, работающих в условиях сложных напряженно-деформируемых состояниях. Поведение строительных конструкций и инженерного оборудования характеризуются рядом факторов, носящих случайных характер. Это относится к прочностным и деформативным показателям материалов, нагрузкам действующим на элементы здания, воздействиям факторов окружающей среды. В процессе изготовления отдельных элементов, их транспортировки и монтажа возможны отклонения параметров конструкций от заданных значений. Поэтому для оценки технического состояния здания, сооружения или инженерных систем необходимо уметь прогнозировать возможность их дальнейшей эксплуатации с учетом взаимосвязей и случайного характера формирования

тех или иных свойств. Для этого требуется, кроме технической диагностики, умение выполнять оценку надежности объектов /4,5,6,7/.

Наиболее ответственной и сложной системой строительства, капитального ремонта и реконструкции зданий и сооружений является проектирование домов различного функционального назначения и конструктивной системы /8,9/, качеством проектно-сметной документации по мнению многих ученых и специалистов определяется до 60% эффективность ее реализации. Поэтому низкий уровень проектов, как правило, обуславливают и низкий уровень ведения как нового строительства, так и реконструкции.

Характерной чертой ремонтно-строительного производства является отсутствия терминологического единства. В различных регионах нашей страны, а иногда даже в разных районах и организациях одного города или региона одно и тоже ремонтно-реконструктивные мероприятия называют и модернизацией или комплексным капитальным ремонтом, и капитальным ремонтом с перепланировкой. Это создаёт трудности и путаницу в учете и отчетности, влечет за собой сложность в осуществлении единой технической политики в области капитального ремонта и реконструкции зданий и сооружений.

При осуществлении работы по капитальному ремонту и реконструкции зданий необходимо учитывать ассоциации, установившиеся привычки и другие характеристики человека. Обеспечение безопасности реконструированного здания имеет непосредственную связь с требованием прочности, деформативности и устойчивости элементов и конструкций, эксплуатационной надежности и сейсмостойкости зданий и сооружений при землетрясениях расчетной интенсивности.

В результате изменения условий окружающей среды вследствие жизнедеятельности человека, научно-технического прогресса, повышения жизненного уровня и т.д., технологические процессы и эксплуатация зданий и сооружений постоянно меняется в ту или иную сторону, которые трудно

поддаются к оценке. Трудность анализа этих процессов в различных условиях эксплуатации (особенности климата, прочность грунтов оснований, техногенные факторы, землетрясения и т.д.) состоит в недостаточности экспериментальных данных об изменении технического состояния зданий и сооружений.

Неоценимое значение имеют научно-исследовательские и изыскательно-конструкторские работы в области строительства. В настоящей работе также делается попытка по решению проблемы-разработки эффективного материала-вяжущего для бетона позволяющего обеспечения высокой прочности, водонепроницаемости и требуемого качества несущих элементов при реконструкции зданий и сооружений. Решение этой проблемы позволит создания необходимого условия для безопасной жизнедеятельности и проживания населения. Одним из перспективных направлений устранения отрицательных последствий усадки и улучшения строительно-технических свойств бетона и железобетона является применение расширяющихся вяжущих и, в первую очередь, напрягающего цемента (НЦ). Высокая прочность, трещиностойкость, непроницаемость и способность, расширяясь при твердении, самоупрять (предварительно напрягать) железобетон предопределяет эффективность использования бетонов на НЦ в самых различных областях строительства.

Несмотря на преимущества напрягающего цемента, его выпуск в целом по СНГ, по сравнению с развитыми странами, невелик. В нашей республике его производство отсутствует. Одной из основных причин является дефицитность и высокая стоимость одного из его основных компонентов – глиноземистого шлака, что и обусловило поиск более доступных сырьевых материалов для производства НЦ. В результате исследований отечественных и зарубежных ученых в качестве более дешёвого сырья для производства НЦ были предложены различные природные и техногенные алюмосодержащие материалы. Анализ результатов этих исследований показал, что одним из перспективных направлений в получении расширяющихся вяжущих является

использование алунизированных пород, широко распространённых в земной коре и содержащих в большом количестве сульфат алюминия. В нашей республике имеются крупные залежи алуниносодержащих пород, большая часть которых уже разведана. Одно из наиболее значительных месторождений-Гушсайское, расположенное в Ташкентской области. Разработка на основе этого сырья нового строительного материала расширяющегося компонента-напрягающего цемента является немаловажным вкладом в решении вышесказанных проблем.

Научно-исследовательскими институтами и ВУЗами, проектными, строительно-монтажными и ремонтно-строительными организациями накоплен значительный опыт в осуществлении реконструкции и модернизации зданий и сооружений. В этой области в последние годы выпущено большое количество инструктивных и рекомендательных документов /10, 11, 12, 13/, монографии /14, 15, 16/, учебники и учебные пособия /4, 17,18,19,20/, и сданы соответствующие главы КМК /21, 22, 23/.

Однако, являются недостаточными проведенные работы научно-исследовательского характера, в частности по разработке новых строительных материалов и на их основе изделий и конструкций зданий и сооружений, а также других вопросов как климатического, так и техногенного характера.

В свете вышесказанных целью работы является разработка технологических основ получения расширяющихся вяжущих и бетонов на их основе путем комплексной переработки пород Гушсайского месторождения и применение их в объектах реконструкции городской застройки.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- анализ и обобщения научно-технических, технологических вопросов получения расширяющихся вяжущих;
- изучение сырьевой базы, физико-химических свойств и структуры алунитовых пород Гушсайского месторождения. Исследование физико-

химических процессов, происходящих при термоактивации алуниносодержащих пород;

- анализ полученных данных в сопоставлении с известными представлениями о влиянии температуры обжига на фазовые превращения в структуре, и выбор оптимальной величины температуры обжига для получения расширяющих цементов с различной энергией расширения;

- разработка лабораторного регламента и технологических схем получения расширяющих цементов с различной энергией расширения при использовании термоактивированного алуниносодержащего материала в лабораторных и производственных условиях соответственно;

- исследование влияния добавки термоактивированного алуниносодержащего материала на физико-механические свойства расширяющих цементов, на степень их расширения и самонапряжения;

- проведение опытных испытаний по определению величины расширения и самонапряжения и других физико-механических свойств цементов и бетонов на их основе с учетом условий твердения;

- определение возможности и целесообразности применения РЦ для усиления несущих элементов и конструкций реконструируемых зданий и сооружениях жилищно-гражданского строительства.

Научная новизна работы:

- состав расширяющегося вяжущего полученного из алуниносодержащей породы Гушсайского месторождения;

- разработанный лабораторный регламент и технологическая схема получения расширяющих цементов с различной энергией расширения;

- разработанные рекомендации по усилению несущих конструкций реконструируемых объектов городской застройки с применением полученного расширяющего цемента.

Актуальность работы вытекает из Указов Президента Республики Узбекистан И.А.Каримова № УП-412 от 09.09.1999г. «Об изучении зарубежного опыта и внедрения новых технологий в капитальном

строительстве» и № УП-305 от 05.08.2000г. «О дополнительных мерах по углублению экономических реформ в капитальном строительстве». Этот вопрос также имеет важное место и в законе «Об архитектуре и градостроительству в Республике Узбекистан».

Практическая ценность работы определяется в:

- разработке расширяющегося и напрягающего цементов на основе местных сырьевых материалов, во-первых, исключит необходимость его завоза из-за пределов республики; во-вторых, позволит заменить в составе расширяющихся вяжущих дорогостоящий и дефицитный глинозёмистый цемент или шлак и таким образом снизит их стоимость до уровня обычного портландцемента;

- производстве расширяющих цементов в нашей республике и это открывает большие возможности в улучшении физико-механических свойств бетонов, повышении надёжности и долговечности конструкций городских инженерных сооружений, таких как, мостов и путепроводов, спортивных сооружений, гидротехнических и ирригационных сооружений, покрытий автодорог и аэродромов, строительству которых в последние годы уделяется большое внимание;

- разработанных технических решениях по усилению несущих конструкций и элементов зданий и сооружений реконструируемых городской застройки.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Ташкентского Архитектурно-Строительного института, а также неоднократно докладывались на заседаниях кафедры «Городского строительства и хозяйства».

Публикация работы. По теме диссертации опубликованы 2 научных статьи в сборнике научных трудов института.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературных источников из - ... наименований и ... приложений.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1.1. Известные представления о расширении, физико-механических свойствах и технологии расширяющих вяжущих и бетонов на их основе

Как известно /24, 25, 26, 27, 28, 29/, причиной структурных напряжений в бетоне, связанных с процессами структурообразования и условиями термодинамического взаимодействия с окружающей средой, являются конгломератный характер его строения и различия в физико-механических свойствах и деформациях компонентов- затвердевшего цементного камня, мелкого и крупного заполнителя. Такого рода напряжения и деформации оказывают существенное влияние на прочность бетона, его предельную растяжимость, и следовательно, на трещиностойкость железобетонных конструкций, а также на такие нормативные показатели, как водонепроницаемость, морозостойкость, стойкость в агрессивных средах, которые определяют долговечность материала в различных условиях эксплуатации.

Для разграничения структурных напряжений в зависимости от природы их возникновения в настоящей работе будет придерживаться по конкретной их классификации /7/. Собственными называются напряжения, возникновения которых в твердеющем цементном камне не связано с массо - и тепло обменом его с внешней средой. Это – напряжения, которые возникают главным образом в процессе гидратации, формирования структуры и старения цементного камня. Напряжения, определяемые процессами массо - и теплообмена с окружающей средой, относятся к внутренним (например: влажностные и термические).

Таким образом, в процессе твердения бетона и в условиях последующей эксплуатации железобетонных конструкций существенное влияние на физико-механические свойства и долговечность бетона будет оказывать как

собственные напряжения, так и внутренние. Одним из основных видов таких напряжений являются напряжения, вызываемые влажностной усадкой в процессе становления гигрометрического равновесия с окружающей средой. При этом достижение усадкой величин, равных или превышающих предельную растяжимость бетона приводит и его к трещинообразованию /24, 28, 30, 31/.

Исследованию природы усадки и её влияния на напряжения, развивающиеся в бетоне, посвящено большое количество работ /23, 27, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41/. Среди них наиболее известны труды С.В.Александровского, И.Х.Арутюняна, А.А.Ашрабова, О.Я.Берга, А.А.Гвоздева, В.В.Михайлова, Р.К.Мамажанова, З.Н.Цилосани, А.Е.Шейкина, Е.Н.Щербакова, А.Е.Федорова, Д.Бернала, Т.Хансена и других.

Обстоятельный обзор представлений о механизме усадки и ползучести бетона, опубликованных до 1963 года, сделан З.Н.Цилосани /36/. Он отмечает, что рост меры усадки, приходящейся на единицу количества испарившейся влаги, связан с действием капиллярных сил, которые проявляются, когда вода начинает испаряться из капилляров. При дальнейшем обезвоживании размеры капилляров, остающихся заполненными, уменьшаются, что приводит к росту капиллярного давления и увеличению сжимающихся усилий, передаваемых на стенки капилляров и вызывающих сжатие скелета цементного камня – усадку. Усадку цементного камня при низких влажностях окружающей среды З.Н.Цилосани объясняет испарением адсорбированной влаги из прослоек между кристаллами новообразований в контакте коагуляционного типа, а также межслоевой воды из самых кристаллов слоистого типа.

С.В.Александровский установил /32/, что не вся вода, содержащаяся в цементном камне, вызывает усадку. Он ввёл понятие эффективной и критической влажности бетона. Эффективной влажностью бетона называется часть его полной влажности, представляющая собой меру содержания в нём

адсорбционно-связанной воды цементного геля, удаление которой не вызывает его усадки. Критической влажностью бетона называется предельная величина эффективной влажности бетона, при которой гель имеет максимальную степень увлажнения при отсутствии в бетоне свободной воды. Усадка бетона связана лишь с изменением его эффективной влажности, которая меньше её критического значения.

А.Е.Шейкин разделяет усадочные деформации на свободные, проявившиеся и не проявившиеся, причем только последние обуславливают возникновение напряжений /28/. Не проявившиеся деформации усадки названы А.В.Лыковым «неразрешенной усадкой», а Г.И.Горчаковым – «стесненной усадкой» /24/.

Из физической природы явления следует, что чем больше не проявившаяся усадка, тем выше уровень напряжений в структуре бетона. При этом не проявившиеся деформации усадки тем выше, чем больше свободная усадка бетона. Немаловажную роль играет при этом неоднородность бетона, составляющие которого имеют различные физические свойства, проявляющиеся по-разному как в процессе формирования структуры, так и на последующих стадиях при изменении температуры, влажности среды и других факторов. Вследствие этого и появляются очаги внутренних напряжений, приводящие к нарушению сплошности материала или его разрушению. Основной причиной появления трещин принято считать возникновение в бетоне общих и локальных деформаций растяжения, превышающих его предельную растяжимость. Таким образом, повышению усадочной трещиностойкости способствуют факторы, которые уменьшают усадку и увеличивают растяжимость бетона.

Исследование закономерностей связи структуры цементного камня в бетоне с внутренними напряжениями от влажностной капиллярной усадки и его трещиностойкостью требует дальнейшего развития, поскольку большинство исследований проведено для железобетонных конструкций, эксплуатируемых в средах с относительной влажностью в пределах 40-98%.

Для условий сухого жаркого климата, где относительная влажность опускается до 20% и ниже, исследования по влиянию усадки на внутренние напряжения проводились недостаточно. Большинство исследований, проведенных в условиях сухого жаркого климата, посвящены изучению процессов усадки бетона, установлению их величин в зависимости от состава бетона, условий твердения и эксплуатации /42, 43/. В целом накоплен очень ценный экспериментальный материал, позволяющий судить о физической сути явлений и дать их количественную оценку. Вместе с тем эти исследования, связывая трещинообразование и снижение долговечности бетонных и железобетонных конструкций с усадочными явлениями, дают представления лишь о проявившейся усадке и не рассматривают непроявившуюся, определяющую внутренние напряжения и появление микротрещин в бетоне.

В тоже время, исходя из напряженного состояния компонентов бетона, обусловленного усадкой цементного камня, можно отметить, что одним из значимых резервов повышения прочности, водонепроницаемости и долговечности бетонов является устранение или предельное уменьшение усадочных явлений в бетоне. В решении этих вопросов эффективным является применение различных эффективных пластифицирующих добавок, суперпластификаторов, позволяющих значительно уменьшить W/c в бетонных смесях, не снижая их подвижности. Существенное место имеют методы ухода за твердеющим бетоном, способы его защиты от высыхания. Большой вклад в исследования особенностей формирования структуры и улучшения свойств как бетонных смесей, так и затвердевшего бетона, а также в развитии технологии бетона в условиях сухого жаркого климата внесли, А.И.Адылходжаев, И.Н.Ахвердов, А.А.Ашрабов, Ю.М.Баженов, В.Г.Батраков, М.М.Вахитов, И.Б.Заседателев, Х.У.Камбаров, И.К.Касымов, Б.А.Крылов, С.А.Миронов, Л.А.Малинина, Е.Н.Малинский, Р.К.Мамажанов, А.Ф.Милованов, А.М.Мухитдинов, Н.А.Самигов, В.И.Саломатов,

Г.И.Ступаков, М.К.Тахиров, Е.С.Темкин, А.Е.Федоров, Е.Н.Щербаков, М.Венюа, Р.Дютрон, А.Невилл, Р.Шалон и многие другие.

Радикальным направлением устранения отрицательных последствий усадки бетона является использование расширяющихся (РЦ) и напрягающих (НЦ) цементов. В развитие технологии получения расширяющихся и напрягающих цементов и исследования бетонов на их основы внесли Т.А.Атакузиев, Г.А.Айрапетов, П.П.Будников, Л.И.Будагянц, Г.Г.Габададзе, Ф.Л.Глекель, А.И.Звездов, М.Искандарова, И.В.Кравченко, К.Г.Красильников, Т.И.Кузнецова, С.Л.Литвер, В.В.Михайлов, Г.М.Мартиросов, Б.И.Нудельман, Л.А.Титова, У.Фазылов, С.А.Ходжаев, Е.Н.Щербаков, Р.Р.Юсупов, Ю.Ватанобе, Г.Гендрик, Г.Лоссье, П.Мета и другие.

Одним из наиболее интересных случаев проявления собственных деформаций является процесс расширения цементов. Как было показано выше, твердение обычных цементов на воздух сопровождается усадочными явлениями, что отрицательно влияет на качество и долговечность бетонных и железобетонных конструкций. Поэтому над созданием безусадочных и расширяющихся цементов работали многие исследователи. Начиная с 30-х годов прошлого столетия предложено множество различных композиций в этом плане /32, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 и др/. В большинстве композиций расширяющей фазой в твердеющем цементе служат кристаллы гидросульфоалюмината кальция. В небольшой части предложенных составов в качестве расширяющего компонента используются оксидные добавки – CaO , MgO .

Вместе с тем, несмотря на бесспорную перспективность, расширяющиеся и напрягающие цементы еще не получили достаточно широкое применение. Одной из основных причин этого является отсутствие единой теории, способной удовлетворительно объяснить весь сложный комплекс явлений, происходящих в расширяющихся системах. Теоретические представления о расширении цементных систем носят

противоречивый характер /32, 45, 52, 53, 54, 55, 56/. Известен целый ряд гипотез о причинах расширения цементов в процессе их твердения. Большая их часть относится к объяснению явления расширения сульфатсодержащих расширяющихся цементов. Мнения большинства исследователей сходятся в том, что в основе расширения различных сульфатсодержащих цементов лежит реакция образования гидросульфоалюмината кальция в процессе их твердения. Однако механизм расширения таких цементов учёными трактуется по-разному.

По гипотеза Лосье – Лафюме /56, 57/ расширение цементного камня обязано гидросульфоалюминату кальция, который образуется в смесях портландцемента и сульфоглинозёмистого цемента в результате взаимодействия между гипсом и четырёхкальциевым гидроалюминатом. Известь для этой реакции поставляется за счет гидролиза силикатов цементного камня. Расширяющим агентом, по мнению /56/, следует считать тонкодисперсный сульфоалюминат кальция, возникающий в соответствии с теорией Ле-Шателье при взаимодействии раствора гипса с алюминатом кальция в твердой фазе, т.е. без предварительного растворения последнего. Образование такого соединения сопровождается увеличением твёрдой фазы, что и вызывает расширение структуры. В своих концепциях Лосье исходит из теории расширения гидравлических вяжущих Лафюма /57/, согласно которой расширение будет наблюдаться во всех случаях, когда химическая реакция (в данном случае реакция гидратации) происходит без предварительного перехода в раствор гидратирующей твердой фазы. Слабым звеном теории Лафюма является отсутствие экспериментального доказательства протекания реакции образования гидросульфоалюмината кальция в твердой фазе. Как показали исследования К.Г.Красильникова, З.М.Ларионовой, Л.В.Никитиной /53, 58, 59/, степень расширения не связана однозначно с количеством и размером кристаллов гидросульфоалюмината кальция.

По гипотезе Шассевана и Штиглица /55/, основной причиной расширения цементного камня является образование в первый момент взаимодействия цемента с водой метастабильного гидросульфоалюмината кальция низкосульфатной формы, который затем медленно переходит в высокосульфатную, что сопровождается увеличением объема. Шассеван и Штиглиц при построении своей гипотезы базируются на ранних работах Джонса /60/ и Фарсена /61/, которые считали, что при гидратации портландцемента в начальный период может образоваться моносulfоалюминат кальция состава $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

В.В.Михайлов, предложивший целый ряд составов расширяющихся и напрягающих цементов, первоначально /45/ следующим образом формулировал свою точку зрения на механизм расширения. Расширяющийся цемент состоит из двух частей: расширяющегося компонента (смеси гипса и C_4AH_{13}) и цемента (портландцемента) или глинозёмистого цемента). Гипс и алюминат, реагируя между собой, образуют гидросульфоалюминат кальция. Увеличиваясь в объёме, кристаллы гидросульфоалюмината увлекают за собой окружающие их продукты гидратации, и цементный камень в целом расширяется. Поскольку цементное тесто в это время ещё находится в виде геля, оно в силу своих пластических свойств начинает расширяться, сохраняя при этом прочностные свойства. В дальнейшем точка зрения В.В.Михайлова эволюционировала и стала сходной с гипотезой Шассевана и Штирлица. По выдвинутой в 1955 г. гипотезе В.В.Михайлова /45/, расширение цементного камня из напрягающего цемента объясняется тем, что при гидратации исходных материалов в среде, насыщенной гидроокисью кальция, сначала образуется низкосульфатная форма гидросульфоалюмината кальция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, которая затем в водной среде перекристаллизовывается в высокосульфатную форму $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$.

По мнению К.Г.Красильникова /58/, существенным недостатком приведенной гипотезы Шассевана – Штиглица и В.В.Михайлова отсутствие доказательства как перехода моносulfатной формы гидросульфоалюмината

кальция в трехсульфатную, так и вообще возникновения моносульфоалюмината кальция в цементном камне в начальной период твердения. Он отмечает, что последние годы появились многочисленные экспериментальные данные /47, 62, 63, 64/, опровергающие такое предположение. В то же время К.Г.Красильников /58/ подчеркивает, что наибольший теоретический и практический интерес представляют исследования напрягающих цементов, разработанных в НИИЖБ В.В.Михайловым и его сотрудниками /35, 45/.

В соответствии с представлениями о механизме твердения и расширения цементного камня, сформулированными П.А.Ребиндером, Е.Е.Сагаловой с сотрудниками /65/ в процессе формирования структур твердения действуют два противоположных фактора: создание контактов срастания, приводящих к упрочнению структуры, и возникновения внутренних напряжений, вызывающих частичное разрушение структуры и снижение её прочности. Внутренние напряжения, являющиеся результатом кристаллизационного давления, появляются в процессе структурообразования вследствие того, что контакты срастания препятствуют свободному сдвигу и перемещению растущих кристаллов новообразований. Расширение является не только одним из внешних проявлений внутренних напряжений, но зависящий и от характера структуры и в первую очередь от количества коагуляционных контактов в ней. Чем больше в структуре кристаллизационных контактов, тем более хрупкой она является, и внутренние напряжения, вызывая разрушения структуры, не будут приводить к её расширению. Однако такие же внутренние напряжения могут вызывать явное расширение структуры, если в ней имеется достаточное количество коагуляционных связей, по которым может осуществиться пластический сдвиг структурных элементов с последующей их фиксацией в новом положении. Такие представления позволили связать кинетику расширения в процессе твердения со степенью перенасыщения, создающегося в жидкой фазе, механическими свойствами развивающейся при твердении структуры и условиями

структурообразования. Недостатком указанных выше представлений является отсутствие прямых экспериментальных данных о возникновении в цементном камне внутренних напряжений.

Наиболее глубокие исследования и анализ теоретических представлений о механизме расширения цементов проделаны в НИИЖБ под руководством К.Г. Красильникова Л.В. Никитиной и А.И.Лапшиной (53, 59). Важное значение в них придавалось изучению физико-химических процессов, происходящих при твердении сульфатсодержащих расширяющихся цементов, и в особенности, исследованию характера и кинетики кристаллизации новых фаз, образующихся при гидратации компонентов расширяющих добавок. Особое место занимают исследования формирования структуры в процессе твердения и расширения цементного камня, т.е. объёмные изменения, происходящие в структуре при изменении объема составляющих ее отдельных частиц. При изучении механизма расширения ими учитывались также вопросы механики деформаций: и изучались взаимосвязь прочностных, деформационных свойств собственных напряжений, сопровождающих процесс твердения расширяющихся цементов /53, 58/.

Проведенные исследования и полученные при этом многочисленные экспериментальные данные позволили К.Г.Красильникову и Л.В.Никитиной в некоторой степени обобщить и сформулировать теоретические основы получения расширяющихся цементов /53/. Так, они считают, что в основе процесса расширения РЦ и НЦ лежит локализованное увеличение объема новообразующих фаз в результате гидратации расширяющего компонента. В процессе формирования структуры цементного камня локализованное увеличение объема частиц расширяющего компонента приводит к возникновению в нем внутренних (собственных) напряжений. При некотором критическом уровне напряжений, достаточном для преодоления сопротивления структуры, определяемого ее реологическими свойствами, происходит деформация цементного камня – расширение. Образование

конечных продуктов реакции расширяющего компонента должно сопровождаться увеличением объема твердых фаз, которое при всех реакциях расширяющего компонента должно быть локализовано какими либо элементами структуры твердеющего цемента. По мнению авторов /53/, в рассматриваемых композициях РЦ и НЦ центрами локализации реакций образования этtringита являются частицы исходных алюминатов кальция.

Другим определяющим условием в процессе расширения становится фактор кинетики кристаллизации расширяющихся фаз. При твердении расширяющихся цементов протекают одновременно два процесса:

- формирование основной структуры твердения и нарастание прочности цементного камня;
- развитие в этой формирующейся структуре центров с локализованным увеличением объема новообразующейся твердой фазы, приводящее к нарастанию внутренних напряжений и деструкции (расширению) цементного камня.

Для получения оптимальных величин расширения и прочности скорости указанных двух процессов должны быть взаимосогласованы. Основная часть расширяющейся фазы-этtringита должна образовываться после достижения цементным камнем определенной прочности (не менее 2-3 МПа), т.е в полужесткой структуре, содержащей достаточное количество коагуляционных контактов, по которым может осуществляется пластический сдвиг /53/.

Экспериментально – теоретические выводы авторов работы /53/ развивают и подтверждают основные положения теоретических представлений о расширению цементных систем, выдвинутых В.В.Михайловым и Р.А.Ребиндером.

Дальнейшему развитию и углублению этого направления посвящены исследования А.Е.Федорова /27/, объясняющего процессы расширения цементов собственными напряжениями в условиях объемного кристаллизационного давления при образовании этtringита. В результате

экспериментального изучения объемного кристаллизационного давления основных гидратных фаз, кристаллизующихся в процессе твердения цементного камня, показано, что этtringит имеет наибольшую величину удельного объемного кристаллизационного давления ($P_v = 9,5$ МПа). У гидрата окиси кальция, карбоната кальция гипса и гидроокиси алюминия P_v равно, соответственно, 4,9; 3,3; 2,9 и 1,8 МПа, а гидросиликатов кальция – близко к нулю. Кристаллизация гидроалюминатов, гидроалюмоферритов, гидросульфферритов кальция связана с уменьшением объема системы (отрицательное значение P_v). По мнению А.Е.Федорова, образование этих соединений не вызывает развитие собственных напряжений или расширения цементного камня. Подобное утверждение нам представляется не совсем корректно, так как отрицательное значение P_v вызывает собственные растягивающие напряжения в структуре цементного камня, соответствующие его контракционной (химической) усадке. В целом результаты исследований А.Е.Федорова, дополняя существующие воззрения, позволяют дать удовлетворительное объяснение увеличению объема расширяющихся цементов.

С применением методов РФА и электронной микроскопии авторами /66/ проведены исследования морфологии этtringита в содержащем 10% расширяющей добавки цементном тесте, твердеющем в условиях, моделирующих условия твердения в массивном безусадочном бетоне. Отмечено, что повышение температуры до 70°C препятствует образованию этtringита и даже приводит к его разрушению. Относительная влажность при выбранном температурном режиме и последующие условия твердения при температуре окружающей среды являются критическими факторами, определяющими количество и морфологию этtringита, и в конечном итоге, потенциал расширения формирующегося в поздние сроки этtringита. Сильное расширение имеет место в случае позднего образования большого количества мелкокристаллического этtringита в плотном тесте, твердеющем в водонасыщенных условиях /67/.

Несмотря на отсутствие четких теоретических представлений, результаты экспериментальных исследований /45, 47, 68, 69, 68, 70, 71, 72/. Позволили создать различные виды расширяющихся цементов. Первые разработки расширяющихся цементов относятся к первой половине прошлого столетия. Во Франции Г.Лоссье разработал безусадочный портландцемент, представляющий собой силикатный клинкер, обожжённый с присадкой каолина и гипса к исходному сырью /72/. Такой клинкер после размола дает цемент, который после затворения расширяется в воде и затвердевает. После извлечения из воды он претерпевает на воздухе усадку, значительно меньшую величину, чем у обычного портландцемента. Позже им были предложены два состава расширяющегося цемента, дающие при своем расширении либо полную компенсацию усадки, либо после проявления всей усадки – положительный остаток расширения. Цемент второго вида является смесью клинкеров портландцемента и сульфоалюминаткальцевого цемента, полученной обжигом смеси бокситов или члены, известняка и гипса в определенном, но не названном соотношении.

В 1942 году профессор В.В.Михайлов предложи два вида расширяющихся цементов в композиции с расширяющим компонентом - расширяющийся цемент (РЦ) и водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ). Расширяющий компонент в первом случае добавлялся в портландцемент, а во втором – в глиноземистый цемент. Для получения этих цементов необходимо было предварительно изготовить высокоосновный гидроалюминат кальция C_3AH_{13} (ВГАК), что достигалась совместной гидратацией глиноземистого цемента с известью. Оптимальное соотношение глиноземистого цемента и извести было 1:0,5. РЦ представлял собой слабо расширяющееся вяжущее, получаемое смешиванием портландцемента (не менее 85%), молотого ВГАК и гипса (не более 10%). РЦ был использован в восстановительных работах после Великой Отечественной войны /73/, но его промышленного производства не было. ВРЦ получали совместным помолом

до необходимой тонкости помола трех порошкообразных компонентов: глиноземистого цемента (70%), четырехкальциевого гидроалюмината $C_4 A H_3$ (10%) и гипса (20%). Он широко применялся, в частности, для заделки тубингов метро /46/.

В 1944 году Г.Лоссиер и А.Кагнот опубликовали исследования по расширяющемуся цементу, который должен был обладать самоупрежением /71/. Этот цемент получают совместным помолом портландцемента и расширяющей добавки, в количестве от 8 до 20%, состоящей из сульфогидроалюмината кальция и граншлака. Г.Лоссиер изготавливал сульфогидроалюминатный клинкер обжигом смеси боксита (25%), гипса (50%) и известняка (25%) при температуре существенно ниже температуры обжига портландцемента. Полученный клинкер представлял собой в основном соединение силикатов кальция CS , гидратов кальция $C_5 A_3$, сульфата кальция, ферритов и ортосиликатов кальция.

Большой вклад в последующие разработки расширяющихся цементов внесли И.В.Кравченко, Б.Г.Скрамтаев, П.П.Будников, Э.З.Юдович и другие. Б.Г.Скрамтаев и Э.З.Юдович в 1950г. предложили применение тампонажного расширяющегося цемента, получаемого помолом 80-92% доменного основного гранулированного шлака, 3-5% глиноземистого цемента и гипса. Этот цемент имел применение в метростроении.

Совместно с Ю.Ф.Соломатиной И.В.Кравченко /74/ разработала расширяющийся портландцемент, полученный помолом портландцементного клинкера (60-65%), глиноземистого цемента или боксита (5-7%) и гидравлической добавки (20-25%). При затворении, и особенно при пропаривании, образуется гидросульфогидроалюмината кальция и гидросиликат кальция, обеспечивающие быстрое затвердение и расширение.

В этот же период П.П.Будников, И.В.Кравченко и Б.Г.Скрамтаев разработали гипсоглиноземистый расширяющийся цемент ГГРЦ /75/, получаемый совместным помолом глиноземистых шлаков (65-70%) и гипсового камня (35-30%).

Нужно отметить, что длительное время при разработке составов расширяющихся цементов не удавалось решить проблему получения вяжущего, обладающего достаточно большой химической энергией расширения и способного без разрушения и ослабления структуры бетона создавать напряжения арматуры в железобетонных конструкциях только за счет сил химического расширения. Это стало возможным с изобретением в 1953г В.В.Михайловым, С.Л.Литвером, А.Н.Поповым /76/ нового вяжущего-трехкомпонентного расширяющегося (напрягающего) цемента, получаемого путем механического смешивания портландцементного клинкера, глиноземистого цемента или другого алюмосодержащего вещества и гипса. Такой цемент является высокоактивным, быстросхватывающимся и быстротвердеющим вяжущим, обладающим при правильно рассчитанном составе значительной энергией расширения, позволяющей не только компенсировать усадку, но и создавать положительное расширение, при ограничении которого конструкции придаётся предварительное напряжение (самонапряжение). В трехкомпонентном напрягающем цементе интенсивное расширение происходит при прочности бетона (10-15 МПа), достаточной для обеспечения сцепления с арматурой и создания возможности ее натяжения за счет химической энергии расширения твердеющего цемента. Железобетон, получивший предварительное напряжение химическим путем при расширении НЦ, был назван самонапряженным, а собственные структурные напряжения - самонапряжением.

В последствии исследованиями В.В.Михайлова и С.Л.Литвера /46, 77/ была научно обоснована и подтверждена схема получения напрягающего цемента с термовлажностной обработкой (НЦТ). Образцы, изготовленные из НЦ с высокой энергией расширения и помещенные в суточном возрасте в воду, разрушаются в результате бурной реакции образования гидросульфоалюмината кальция (ГСАК). В этом случае тепловлажностная обработка при 90-100⁰С позволяет замедлить процессы расширения цемента. При этом гидратация НЦ сопровождается преимущественным образованием

ГСАК моносульфатной формы. В результате происходит незначительное расширение, сопровождающееся процессам ускоренного набора прочности бетона.

Дальнейшие исследования по совершенствованию состава НЦ позволили создать к концу шестидесятых годов прошлого века четырех компонентный НЦ, в который дополнительно была введена известь - кипелка. Согласно теоретическим положениям В.В.Михайлова /45/, свободная известь-кипелка в составе НЦ при затворении водой вяжущего гидратируется значительно быстрее остальных окислов, поглощая часть воды и тем самым создавая среду, перенасыщенную гидроокисью кальция /78/. В результате происходит замедление образования трехсульфатной формы гидросульфоалюмината кальция и более активное его образование при более высокой прочности цементного камня при последующем водном твердении. Образование ГСАК и ускорение роста прочности определяет увеличение самоупругения при упроченной структуре цементного камня.

По энергии расширения напрягающий цемент подразделяется на марки НЦ-10, НЦ-20 и НЦ-40, где цифровой индекс отражает величину самоупругения цементного камня в кг/см². При этом свободное расширение составляет до 0,5; 2,5 и 3,5%, а связанное, при его ограничении, эквивалентном армированию с $M=0,01$ -до 0,05; 0,1 и 0,15%, соответственно, для вышеприведенных марок НЦ. НЦ соответствующей марки получают в результате совместного помола портландцементного клинкера, глиноземистого шлака и гипсового камня, взятых в определенном соотношения.

Исследования по созданию и изучению расширяющихся и напрягающих цементов проводились также в США, Японии, Болгарии и в других странах. В результате работ, проведенных в США Клейном, Арони, Поливкой и другими был предложен «К»-цемент, основанный на образовании устойчивого безводного сульфоалюмината кальция путём термической обработки смеси боксита, мела и гипса при температуре 1380°C. Хотя

составляющие были аналогичны составляющим цементов Г.Лоссьер, подбор материалов и условия образования клинкера способствовали созданию цемента, способного компенсировать усадку и создавать значительное расширение /48, 51, 79, 80, 82, 83/, а при определенных условиях твердения и армирования-самонапряжения до 3,6 МПа /46/.

В США также выпускается «М»-цемент, предложенный В.В.Михайловым. Он состоит из портландцементного клинкера, гипса и глиноземистых шлаков, получаемых в качестве побочного продукта при выплавке чугуна. Изменяя состав цемента и условия его твердения, его использовали и как расширяющийся, и как напрягающий, создающий самонапряжение в пределах 2.0-3,7 МПа /46/.

Японские исследователи Т.Танако и И.Ватанабе /15, 83/ разработали расширяющийся цемент, состоящий из портландцемента (65%), глиноземистого цемента (25%) и гранулированного шлака (10%). Т.Ниши, Т.Харида и Йоширо Кох /70/ исследовали растворы и бетоны, изготовленные на сульфоалюминатном кальциевом цементном клинкере, и пришли к выводу, что данное вяжущее пригодно для получения эффективного расширения в растворах и бетонах для компенсации усадки в раннем возрасте.

Расширяющийся цемент, разработанный в Болгарии В.Златановым и Н.Джабаровым /85/, тоже относится к сульфатосодержащим вяжущим.

С разработкой РЦ и НЦ начали развиваться исследования по изучению особенностей формирования структуры, свойства и технологии бетонов на их основе. Научно-исследовательские работы, проведенные под руководством В.В.Михайлова в НИИЖБ, а также в ряде научных организаций России, Белоруссии, Грузии, Украины, Узбекистана и других, позволили достаточно полно овладеть механизмом самонапряжения железобетона и управлять им в соответствии с особенностями различных конструкций и их технологии, разработать методы исследования физико – механических свойств растворов и бетонов на НЦ, выявить особенности расчета и применения напрягающего

бетона в различных видах сборных и монолитных конструкций /44, 81, 86, 87, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96/.

Экспериментальными исследованиями /45, 97/ установлено, что Характер и величина расширения образцов из НЦ в значительной степени зависят от того, в каких условиях и в какой период происходит образование и кристаллизация ГСАК. Процессы расширения, происходящие при твердения цементного камня должны развиваться одновременно и в определенном соответствии с процессами роста прочности. Установление соответствия этих процессов, необходимого для создания самонапряжения, должно обеспечиваться как по интенсивности их развития, так и во времени. По данным /46, 90/, эти процессы могут регулироваться химическим составом цемента и установлением определенных тепловлажностных условий его твердения. В работах /90, 98/ установлено, что в условиях упругого ограничения деформаций расширения напрягающие бетоны и растворы обладают наиболее прочной и плотной структурой.

Одной из замечательных особенностей технологии напрягающих бетонов и самонапряженных изделий из них является длительное (4-7 суток) водное выдерживание, при котором протекают процессы расширения и самонапряжения бетона, набравшего до этого необходимую прочность, обеспечивающую его расширения без разрушения структуры /46/. Такая технология, естественно, усложняет производства самонапряженных конструкций. Одним из перспективных направлений в повышении эффективности производства самонапряженных конструкций является поиск путей обеспечения согласования процессов самонапряжения и упрочнения бетона с исключением длительного водного выдерживания. Развития таких исследований открывает возможность сознательного управления процессом расширения и самонапряжения бетона /53, 99, 100, 101, 102 и др/.

В работе /102/ на основе физико-механических исследований, проведенных совместно с Л.В.Никитиной, показано, что образование низкосульфатной формы гидросульфоалюмината кальция с последующей его

перекристаллизацией при водном твердении или соответствующем решении ТВО с высокосульфатную форму сопровождается связыванием большого количества воды и увеличением объема новообразований уже в затвердевшем цементном камне. Исследования микроструктуры цементного камня на НЦ позволили подтвердить мнение профессора В.В.Михайлова о слабопористой структуре этого материала /90/, а также дополнить и развить представление о структуре, характере строения его пор и о факторах, влияющих на формирование последних. Проведенные исследования позволили дать объяснение высоким показателям прочности (50-70МПа), водонепроницаемости (более максимальной нормативной марки W12), морозостойкости (F300-F600 и более) и долговечности напрягающих бетонов.

Таким образом, анализ работ по механизму расширения и сравнение их с ранее известными гипотезами и представлениями показывает, что в этом вопросе до сих пор имеются серьезные расхождения мнений. Многие из приведенных гипотез объясняют лишь отдельные стороны процесса расширения, тогда как для полного понимания механизма расширения необходимо детальное рассмотрение всего комплекса явлений, протекающих в деформирующихся структуры. Ни одна из упомянутых точек зрения на природу расширения цементных вяжущих, взятая отдельно, не может не только прогнозировать, но и объяснить все многообразие происходящих явлений, а отражают лишь некоторые, хотя и важные их особенности.

Необходимо также отметить, что несмотря на противоречивость взглядов исследователей на природу расширения напрягающих цементов, к настоящему времени созданы научно-практические предпосылки для их производства и применения для получения самоупроченного железобетона, что позволяет эффективно решать многие задачи использования железобетона в строительстве.

1.2. Отечественный и зарубежный опыт и перспективы применения напрягающих бетонов

Для напрягающего цемента характерна способность цементного камня расширяться при его относительно большой прочности. При ограничении свободы этого расширения армированием обеспечивается его самоупругивание. Эта способность НЦ отличает его от всех других расширяющихся цементов, способных увеличиваться в объёме только в ранние сроки твердения, когда прочность цементного камня ещё незначительна. Значительное расширение напрягающего цемента происходит после затвердения и приобретения прочности порядка 10,0÷15,0 МПа. При такой прочности расширяющийся цементный камень растягивает заложенную в тело бетона арматуру, независимо от её расположения и ориентации, чем создаётся объёмное сжатие в бетоне. Поэтому предварительное напряжение железобетона за счёт расширения бетона особенно эффективно для конструкций криволинейного очертания, а также там, где необходимо двух- и трёхосное предварительное напряжение, которое механическим путём трудно осуществимо и зачастую практически невозможно. В целом, самоупругивание обеспечивает формирование особо плотной структуры бетона. Конструкции на основе напрягающих бетонов обладают высокой прочностью, трещиностойкостью, водонепроницаемостью (1,2 МПа и более) и долговечностью.

В настоящее время технические свойства и методы испытания НЦ регламентированы в ТУ 5334-072-02495336-98, разработанными в НИИЖБ, а ранее в ТУ 21-20-18-80. НЦ выпускается двух марок по прочности: 400 и 500, и двух – по энергии расширения: НЦ-20 и НЦ-40. Эти разновидности НЦ характеризуются самоупругиванием стандартных образцов, соответственно, 2,0 и 4,0 МПа. Кроме того, выпускается НЦ-10 с малой энергией расширения, отличающийся от НЦ-20 тем, что часть дефицитных и дорогостоящих глиноземистых шлаков в нём уменьшена или частично заменена доступными доменными гранулированными шлаками. Напрягающий цемент НЦ-10

предназначен главным образом для компенсации усадочных явлений и может применяться в неармированных и слабоармированных конструкциях, к которым предъявляются требования водонепроницаемости, а самонапряжение в расчёте не учитывается. Такой цемент лишь незначительно дороже портландцемента соответствующих марок.

Опыт первого промышленного применения НЦ-20, полученный в период 1972-1974 гг., позволил организовать регулярное производство НЦ-20 по ТУ-21-20-18-74, разработанным НИИЖБ и НИИцемент, и приступить к выпуску НЦ-40. При этом одним из первых в 1975 году начал изготавливать этот вид цемента Усть-Каменогорский цементный завод в Казахстане. Позже НЦ выпускают также Подольский, Днепродзержинский, Волковысский, Воскресенский («Гигант») цементные заводы.

Благодаря своим особым физико-механическим свойствам, напрягающие бетоны и растворы получают всё большее распространение в различных областях строительства как за рубежом, так и в СССР. Опыт применения накоплен в США, Японии, Франции, Германии, Болгарии, Сингапуре и других странах. В США самонапряжённый железобетон и цемент, компенсирующий усадку, находят применение в бесшовных плитах покрытий спортивных сооружений, бассейнах, резервуарах, водо- и силосохранилищах, бесшовных междуэтажных перекрытиях, полах промышленных зданий, покрытиях аэродромов и автодорог /35,103/.

На сегодняшний день в разных городах бывшего СССР возведено большое количество уникальных и ответственных сооружений /87,90,93,104,105,106,107,108,109,110,111/. В их числе монолитные и сборно-монолитные ёмкостные, очистные, подземные сооружения, покрытия автодорог и аэродромов, эксплуатируемые кровли, полы промышленных зданий, замоноличенные железобетонные конструкции различного назначения, например, крупногабаритные фундаменты под динамические нагрузки и т.п. Напрягающий цемент был также успешно применён в водонепроницаемых покрытиях многопролётных автодорожных мостов в

Украине, где с такими покрытиями возведено свыше тридцати мостов. В Киеве для здания гаража на 500 автобусов была возведена большепролётная висячая оболочка двоякой кривизны диаметром 160 м с самонапряжёнными радиальными и кольцевыми стыками. Достигнутое в сборно-монолитной оболочке самонапряжение в результате замоноличивания всех её швов бетоном на НЦ придало ей необходимую трещиностойкость и жёсткость.

Напрягающий бетон успешно применялся в метростроении для устройства обделки из самонапряжённых тубингов. Заделка швов между тубингами и инъекция раствора в заобделочное пространство также выполнялись с применением НЦ. Это обеспечило экономию чугуна и позволило применить железобетонные тубинги в водонасыщенных грунтах. Применение НЦ в строительстве Ташкентского метрополитена позволило бы решить большинство проблем, к главной из которых относится обеспечение водонепроницаемости сооружений, так как уровень подземных вод в последние годы значительно поднялся и на многих перегонах и станциях имеют место постоянные протечки.

Широко использовался напрягающий цемент при возведении ряда объектов Олимпиады–80, в частности, трибун стадионов в Москве, Ленинграде, Киеве, а также плавательных бассейнов в Лужниках и спорткомплекса Олимпийской Деревни, которые были выполнены из самонапряжённого железобетона без дополнительной гидроизоляции. Ранее, благодаря использованию самонапряжённого железобетона, были осуществлены бесшовные покрытия ледовых конькобежных дорожек и полей стадионов в Алма-Ате (Медео), Киеве и Москве, а позже, в 1984-1986 гг. – при реконструкции трибун стадионов в Ереване (Раздан), в 1986-1987 гг. – в Волгограде и Ташкенте (ВДСО "Трудовые резервы").

Как показали работы НИИЖБ, Главкузбасстроя, УралНИИСтромпроекта, УзЛИТТИ, для панелей безрулонной кровли могут быть использованы напрягающие бетоны на плотных и пористых заполнителях, а также шлакобетон на НЦ. В различных климатических районах (г.г. Грозный,

Кемерово, Ташкент) построены и успешно эксплуатируются жилые здания с кровлей из панелей различной конструкции, изготовленных с применением НЦ /87,89,93,100,102/. Напрягающие бетоны нашли применение в полах промышленных /104/ и общественных зданий. Этому предшествовали исследования особенностей структуры, физико-механических свойств и технологии напрягающих бетонов и конструкций на их основе в условиях сухого жаркого климата, проводимые под руководством Фазылова У. и Ходжаева С.А. сотрудниками (Юсупов Р.Р., Шаджалилов Ш.М., Шум Ю.Ф., Арифджанов М., Мусурманкулов А. и др.) ТашЗНИИЭП (ныне АО «УзЛИТТИ»). Исследования проводились в тесном сотрудничестве с НИИЖБ и другими научными, проектными и строительными организациями /94,95,104,113,114,115,116/.

Строительство и многолетняя эксплуатация сборных и монолитных железобетонных конструкций различного назначения показали их высокую эффективность и эксплуатационную надёжность /95,110/. Вместе с тем следует отметить, что на всех объектах, построенных у нас в республике, использовался завозной НЦ Усть-Каменогорского (Казахстан) и Кантского (Киргизстан) цементных заводов, что значительно усложняло и удорожало его применение.

Накопленный опыт применения НЦ в строительстве показал высокую прочность, трещиностойкость, водонепроницаемость и экономическую эффективность самонапряжённого железобетона. Однако, несмотря на наличие многочисленных примеров успешного применения самонапряжённых железобетонных конструкций, из-за недостаточного объёма производства НЦ использование этого бетона не отвечает реальным потребностям строительства. Это объясняется, в частности, дефицитностью и сравнительно высокой стоимостью одного из компонентов НЦ – глиноземистого шлака. По этой причине в НИИЖБ совместно с НИИцемент, МХТИ им. Д.И.Менделеева, ТбилНИИСМ, Институтом химии АН РУз и другими научно-исследовательскими организациями были проведены

исследования с целью изыскания и освоения в производстве НЦ из других алюмосодержащих и иных материалов, которые полноценно заменяли бы глиноземистый шлак.

В результате этих исследований в качестве более дешёвого сырья для производства НЦ были предложены и использованы алунитовые породы Загликского месторождения (Азербайджан) /81,117/, сталерафинировочные шлаки, являющиеся отходом сталеплавильного производства. Выпуск промышленных партий НЦ на основе сталерафинировочных шлаков был осуществлён на двух цементных заводах – на Волковысском и Днепродзержинском.

В ходе поисков новой сырьевой базы для производства НЦ на кафедре химической технологии вяжущих материалов Московского химико-технологического института им. Д.И.Менделеева получен новый вид напрягающего цемента, в котором в качестве расширяющегося компонента вместо глиноземистого шлака используется сульфоферритный клинкер, получаемый из железосодержащего сырья. Фазовый состав сульфоферритного клинкера обеспечивает расширение цементного камня на основе сульфожелезистого компонента вследствие образования трёхсульфатной формы гидро-сульфоферритов кальция при гидратации твёрдых растворов ферритов, модифицированных сульфат-ионом.

Технология сульфоферритсодержащих напрягающих и безусадочных цементов, предусматривающая те же этапы, что и традиционная, - обжиг компонентов, совместный помол портландцементного, сульфоферритного клинкеров и гипса - может быть освоена на существующем оборудовании цементных заводов при сниженных расходах топлива в результате пониженной температуры обжига – при 1200 - 1250°С. Выпуск сульфоферритного напрягающего цемента налажен на Воскресенском (Россия) и Кантском (Кыргызстан) цементных комбинатах. Сульфоферритный напрягающий цемент на 25-30% дешевле напрягающего цемента на основе глиноземистых шлаков. Немаловажным при этом является

то, что при получении сульфферритного клинкера обеспечивается снижение удельного расхода топлива на 30%, то есть его производство относится к энергоэкономичным технологиям.

Были сделаны попытки разработать расширяющиеся и напрягающие цементы и у нас в республике. Так, в Институте химии Академии Наук под руководством К.С.Ахмедова и Ф.Л.Глекель проводились исследования по получению расширяющихся и напрягающих цементов на основе алунитовых горных пород в основном Акташского месторождения /44,86,118,119 и др/. Другим направлением было получение РЦ и НЦ с использованием фосфогипса и других техногенных продуктов. Это работы, выполненные под руководством Т.А.Атакузиева и М.И.Искандаровой /120,121,122,123 и др./ в Ташкентском политехническом институте и позже в Ташкентском химико-технологическом институте в сотрудничестве с другими научными и производственными организациями. Благодаря усилиям авторов разработок был организован выпуск целого ряда опытно-промышленных партий РЦ и НЦ, в частности фосфогипса. Несмотря на положительные результаты, по ряду причин организационно-производственного характера результаты этих исследований, к сожалению, не получили должного применения. Крайне важно продолжить работу в этом направлении, так как решение этой проблемы позволит создать не только дополнительную сырьевую базу для производства напрягающих и расширяющихся цементов, но и будет способствовать решению не менее значимой экологической проблемы – утилизации отходов и охране окружающей среды.

Для организации массового выпуска РЦ и НЦ у нас в республике необходимо продолжить и развить исследования в этих направлениях. Как нам представляется, из вышеприведённых направлений одним из перспективных является получение расширяющихся вяжущих и, в первую очередь, НЦ при использовании алунитовых горных пород, большие запасы которых имеются в нашей республике.

Первые попытки использования алунитов в качестве добавки к минеральным вяжущим были предприняты в конце 40-х годов прошлого столетия. Они касались главным образом улучшения свойств гипсовых вяжущих. В 1946-1947 гг. у нас в республике Ф.Л.Глекель были проведены исследования, показавшие возможность повышения прочности и водостойкости ангидритового цемента с добавкой 3-5% алунитовой породы Акташского месторождения /119/.

В 1951 г. В.В.Гегеле, И.В.Овадский и В.А.Гуманишвили в Грузии предложили использовать алунит для изготовления расширяющихся портландцементов /124/. В дальнейшем на основе алунитовых пород Загликского месторождения /81,125/, болгарских алунитовых кварцитов и среднеазиатских месторождений /44,86,118,119/ была выполнена большая серия исследований свойств расширяющихся и напрягающих цементов.

Особо следует отметить важность обширных исследований, проведённых под руководством К.С.Ахмедова и Ф.Л.Глекель сотрудниками Института химии АН УзССР (М.М.Казаков, Р.З.Копп, Г.Н.Курочкина, Б.А.Абдуганиев, О.Асаматдинов, М.Камилова, Э.Г.Каримова, Т.С.Ларионова, Г.Н.Литас, Э.Р.Приев, К.Сабиров, И.Л.Сулаев и др.). В результате были изучены физико-химические процессы, происходящие при взаимодействии алунитов, подвергнутых термической обработке в различных условиях, с портландцементом, известью и гипсом /23/. Исследуется роль алунитов в формировании структуры цементного камня и описываются физико-механические свойства алунитизированных цементов, указываются пути регулирования их свойств и область применения. В целом развиты физико-химические основы использования алунитов в зависимости от их фазового состава при получении новых минеральных вяжущих /86/. Использование данных вышеприведённых работ значительно облегчило проведение наших исследований.

1.3. Выбор рациональных уровней антисейсмических

усилений железобетонных каркасных зданий

Важным вопросам при реконструкции и восстановления зданий и сооружений после длительной эксплуатации, аварии различного рода и стихийных бедствий (землетрясения высокой интенсивности, ураганные ветры, цунами, торнаде и др.) является определения рационального уровня усиления несущих элементов. В результате определения объемов повреждения зданий например, рассчитанных на С-балльную сейсмичность, при землетрясениях интенсивностью R-баллов, а также затраты на восстановление зданий, перенесших землетрясения, то, пользуясь методикой, можно законструировать каркасное сооружение так, чтобы суммарные затраты на его возведение и восстановительные работы от землетрясений, происходящих за срок службы сооружения, были минимальны. Однако здесь возникают довольно серьезные трудности. Первая заключается в том, что оценить степень повреждения каркасного сооружения по количеству и объему несущих элементов, как это делается для кирпичных или крупнопанельных зданий, не представляется возможным. Такие оценки должны характеризовать состояние системы в упругопластической стадии деформирования, а предельное состояние неупругих конструкций – деформативными и энергетическими параметрами или изменением периодов собственных колебаний основного типа.

Другая трудность связана с тем, что для каркасных систем зависимость между объемом повреждений несущих конструкций и затратами на восстановление не столь очевидна как для зданий жесткой конструктивной схемы. В таких сооружениях затраты на восстановление ненесущих элементов (перегородок, остекления и т.д.) могут оказаться значительно больше расходов, требуемых для восстановительного ремонта самих несущих конструкций. Вероятно, более стабильной может оказаться связь ожидаемого ущерба с величинами предельных или остаточных деформаций.

При исследовании сейсмостойкости восстановленных железобетонных каркасов определены зависимости затрат на восстановление от

энергетических и деформативных параметров, характеризующих степень повреждений упругопластических систем /16, 126/. Установлено, что зависимость затрат Z_B от расхода энергии железобетонных каркасов, восстановленных методом инъецирования эпоксидными смолами, имеет вид:

$$Z_B = 3,6 + 0,82 K_w - 0,025 K_w, \quad (1.1)$$

где, K_w – энергетический потенциал каркаса

а зависимость Z_B от относительных остаточных пластических деформаций (перекосов) этажей:

$$Z_B = -0,5 + 152 Y_{ост} - 518 Y \quad (1.2)$$

Для оценок поврежденности железобетонных каркасных зданий в условиях интенсивных землетрясений могут быть использованы методика и результаты, описанные в /16/, опираясь на которые можно установить затраты, необходимые на восстановление. Однако при расчете ущерба от землетрясений необходимо также учесть затраты на восстановительный ремонт несущих элементов каркасных зданий, как выше было отмечено. Следует также констатировать, что даже ориентировочная оценка таких затрат вызывает большие затруднения. Объясняется это следующими обстоятельствами:

- большое разнообразие объемно-планировочных решений каркасных зданий. Так, если в жилых и общественных зданиях (школы, детские сады) большое количество несущих стен, то в зданиях промышленного назначения (цеха, заводы, типографии) такие элементы почти отсутствуют. Поскольку во время землетрясений, как правило, повреждаются несущие элементы, то затраты на восстановление каркасных зданий одинаковой конструктивной схемы могут иметь очень большой разброс;

- в каркасных зданиях весьма трудно установить однозначную связь между объемом повреждений несущих (железобетонный каркас) и несущих конструкций. В принципе можно ожидать линейную зависимость между объемом повреждений несущего каркаса и несущих конструкций. Так, при анализе последствий Назарбекского землетрясения /127/ 11.12.1980

г. довольно серьезные повреждения наблюдались в школьных зданиях и детских садах, выполненных в железобетонном каркасе. При этом интенсивность землетрясения в зоне расположения этих объектов не превышало 7 баллов. Поскольку расчетная сейсмичность зданий составляла 9 баллов, то, учитывая возможные реальные ускорения грунта, нельзя было ожидать столь больших повреждений.

Таким образом, зависимости затрат на восстановление железобетонных каркасов от объемов их повреждений могут быть распространены лишь на каркасные здания, в которых отсутствуют второстепенные несущие элементы (прежде всего перегородки) или приняты меры по обеспечению конструктивных мероприятий, исключающих участие несущих элементов в восприятии сейсмических нагрузок.

Использование модульного каркаса для решения жилищной проблемы с одновременным обеспечением сейсмостойкости здания рекомендуют авторы /19/ решить двумя путями:

- учитывая многовековой опыт строительства недорогих сейсмостойких зданий в сельских районах;
- используя современные достижения в области технологий строительных материалов и конструкций, методов расчета и проектирования жилых домов, а также возможности проведения предварительных испытаний моделей здания.

В результате внесения предложенных изменения, по мнению авторов работы /128/, получится полносборный модульный каркас сейсмостойкого здания, удовлетворяющий современным требованиям строительных норм КМК 2.01.03-96 «Строительство в сейсмических районах» и отработать технологию его возведения.

Проведенный мониторинг каркасного здания Г-образной формы в плане /129/ до и после его реконструкции, выразившейся в надстройке двух этажей из монолитного железобетона и усилении нижнего этажа показал существенное изменение характера колебаний здания с надстройкой по

сравнению с колебаниями здания без надстройки. Общий характер изменения колебаний здания в связи с надстройкой следует оценивать как неблагоприятный для динамической работы его несущих элементов.

Как считают авторы /128/, каркас здания второй конструктивной формы как при применении стальных несущих конструкций, так и железобетонных нельзя рассчитывать только при действии сейсмических нагрузок в направлении поперечной или продольной осей. Особенно опасно не учитывать направление действия сейсмической нагрузки по углом к главным осям здания или сооружения с простой геометрической формой в плане а случаях применения пространственных схем стальных каркасов многоэтажных зданий точечного типа, например, для коробчатой рамной схемы, у которой все горизонтальные и часть вертикальных нагрузок воспринимается несущими элементами, расположенными по периметру здания. В данной схеме промежуточные колонны по периметру здания выполняются двутаврового сечения с расположением стенки двутавра вдоль оси стены здания, на которой он установлен, а угловые колонны, как правило, замкнутого квадратного сечения из четырех равнополочных уголков или из четырех листов. От горизонтальной сейсмической нагрузки, действующей под углом 45° к главным осям такого здания, в угловых колоннах нормальные усилия будут в 1,4 раза больше, чем при направлении действия сейсмической нагрузки вдоль любой главной оси. В целом для угловых колонн максимальные нормальные напряжения от сжатия и изгиба, вызванные горизонтальной сейсмической нагрузкой действующей под углом 45° к главным осям здания, увеличатся в 1,4 раза, что не будет учтено при расчете только по главным осям. Увеличатся также и расчетные усилия, действующие на анкерные болты, которые прикрепляют угловые колонны к фундаментам.

Вызывает большой интерес результаты вибрационных испытаний одного из домов многоэтажного жилого комплекса «Фантазия» /131/, запроектированного и построенного в г.Алматы корпорацией «Базис-А».

Жилой комплекс возведен на площади сейсмичностью 9 баллов. Категория грунтов по сейсмическим свойствам – I.

Расчетно-теоретический анализ полученных экспериментальных данных, выполненный с привлечением записей реальных землетрясений с магнитудами 6,7-7,5, зарегистрированных на грунтах категории I, показал, что уровень горизонтальных инерционных сил, действовавших на здание при вибрационных испытаниях, вполне сопоставим с уровнем сил, которые можно ожидать при реальных 7-8 балльных землетрясениях. Осмотр основных несущих конструкций здания, осуществленный после завершения вибрационных испытаний показал, что в диафрагмах жесткости, расположенных по осям 4 и 5, наблюдались волосяные трещины, развивающиеся из углов некоторых дверных проемов. Других сколько-нибудь значимых повреждений несущих конструкций не отмечено.

Использование для усиления несущих элементов в целях повышения их несущей способности или устранения повреждений и дефектов и бетонов на их основе. Разработка и организация промышленного выпуска в республике таких вяжущих и бетонов является весьма актуальным в нынешнем состоянии строительного комплекса нашей страны.

Выводы по I главе

Таким образом на основании проведенного анализа литературных источников и результатов научно-исследовательских работ в области, вопросы разработка эффективного материала, расширяющихся и напрягающих цементов на основе сырьевых ресурсов и применения их в объектах реконструируемых зданий и сооружений является актуальными и нуждаются дальнейшего изучения и есть необходимость продолжения исследования по координальному решению данной проблемы. Следует отметить в этом направлении имеются следующие вопросы требующих своего решения:

- разработка новых эффективных строительных материалов и конструкций, изучение их работы в различных условиях, методы расчета по обеспечению надежности, долговечности и сейсмостойкости в условиях, землетрясения расчетной интенсивности;
- высокая прочность, трещиностойкость непроницаемость и способность расширяясь при твердении самоуплотняться железобетон;
- исследование закономерностей связи структуры цементного камня в бетоне с внутренними напряжениями от влажностной капиллярной усадки и его трещиностойкостью требует дальнейшего развития, поскольку большинство исследований проведено для железобетонных конструкций эксплуатируемых в средах с относительной влажностью в пределах 40-98 %;
- радикальным направлением устранения отрицательных последствий усадки бетона является использование расширяющихся и напрягающих цементов; в месте с тем, несмотря на бесспорную перспективность, расширяющихся и напрягающих цементов еще не получили достаточно широкое применения;
- новый вяжущий изобретенный в 1953 году В.В. Михайловым, С.Л. Литвером, А.Н. Поповым явился высокоактивным быстросхватывающим и быстротвердеющим цементом, обладающим при правильно рассчитанном составе значительной энергией расширения, позволяющей не только компенсировать усадку, но и создавать положительное расширение, при ограничении которого конструкция передается предварительное напряжение (самоуплотнение);
- одной из замечательных особенностей технологии напрягающих бетонов и самоуплотняющихся изделий из них является длительное (4-7 суток) водное выдерживание, при котором протекают процессы расширения и самоуплотнения бетона, набравшего до этого необходимую прочность обеспечивающую его расширения без разрушения структуры;
- несмотря на противоречивость взглядов исследователей на природу расширения напрягающих цементов, к настоящему времени созданы научно-

практические предпосылки для их производства и применения для получения самоупроченного железобетона, что позволяет эффективно решать многие задачи использования железобетона в строительстве и реконструкции;

- самоупрочающие бетоны и растворы благодаря своим особым физико-механическим свойствам, получают все большее распространение в различных областях строительства, в том числе метростроении для устройства отделки из самоупроченных тюбингов, заделка швов между ними и инъекция раствора в заделочное пространство;

- для организации массового выпуска РЦ и НЦ у нас в Республике имеются все условия и возможности, необходимо продолжить и развивать исследования в этих направлениях;

- большие перспективы имеют применения РЦ и НЦ для усиления несущих элементов зданий и сооружений предназначенных к реконструкции;

- разработка и организация промышленного выпуска РЦ и НЦ в республике является весьма актуальным в нынешнем состоянии строительного комплекса нашей страны.

ГЛАВА II. ХАРАКТЕРИСТИКЕ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Изучение состояний сырьевой базы алуниносодержащих пород в республике

Алунит – природный минерал, относящийся к группе основных сульфатов. Для всех структурных аналогов алуниита характерно явление изоморфного замещения по анионам катионам, а также образование твердых растворов. Однако, несмотря на большой диапазон возможных замещений, наиболее распространены в природе минералы: алунит, ярозит и смешанная (K-Na) форма алуниита (119).

Наиболее распространенная формула калиевого алуниита – $K_2 SO_4 \cdot Al_2 (SO_4)_3 \cdot 2 Al_2 O_3 \cdot 6 H_2 O$ /132,133/. В виде монокристаллов алуниит встречается крайне редко; обычно он образует скрытокристаллические и мелкозернистые образования с размером зерен от тысячи до сотых долей миллиметра. В зависимости от наличия примесей и структуры физические характеристики – твердость, плотность и другие свойства – колеблются в довольно широких пределах. По данным /132,134/, твердость алуниита равна 4,5-5,0; удельная масса чистых зерен – 2,60÷2,89. природный алуниит встречается в виде пород розового, белого, светло – желтого и серого цвета. Кристаллическая форма гексагональный ромбоэдр, показатели преломления равны 1,572 и 1,592.

При комнатной температуре алуниит почти нерастворим в воде, разбавленных кислотах и аммиаке, но легко растворяется в щелочах и фтористоводородной кислоте. Алуниит – довольно широко распространенный минерал. Залежи его обнаружены во многих районах земного шара – в странах СНГ, в Китае, Японии, Италии, Австралии, США. Алуниит слагает мощные и протяженные слои алуниитовых и алуниит-каолинитовых кварцитов. Содержание алуниитов в пластовых залежах обычно колеблется в пределах 10-70% /119/.

Залежи алуниита в нашей республике, по данным /135/, располагается в пределах Кураминского ядра и в юго-западных отрогах Гиссарского хребта. Из многочисленных проявлений алуниитов, выявленных на этих территориях, наиболее крупные располагаются в Кураминском ядре. Здесь они представлены типичными реликтами древних латеритных кор выветривания (сульфатного типа, по классификации И.И. Гинзбурга), сохранившихся в остаточных депрессиях. Это месторождения и рудопроявления в бассейнах рек Ахангарана (Гушсай, Айналма, Ургаз, Катранги, Карабау) и Чаткала (Каранкуль, Аксаката, Акташ, Зиннан –Терекли и др.)

Наиболее крупные залежи находятся в Гушсайском, Аксакатинском, Ургазском, Айналминском, Зинниан -Тереклинском месторождениях. К тому периоду (1971-1975 г.г.) когда создавалось монография /135/, были разведаны только первые два месторождения. Некоторые (Акташ, Катранги) изучены попутно с разведкой руд других полезных ископаемых. Заслуживали изучения Зиннан – Тереклинские залежи алуниитов. Рудные тела Гушсайского месторождения представлены кварц- алуниитовыми породами (с содержанием алуниита 10-70%) различной мощности (10-100м). Они обнаруживаются на поверхности, погружаясь в глубину до 200м. Это позволяет производить, отработку залежей алуниитов открытым способом. К настоящему времени в нашей республике разведано около 15 из более чем 20 месторождений алуниита.

Ознакомление с результатам последних исследований сотрудников института геологии и геофизики АН РУз /136/ и института минерального сырья и ресурсов Министерства геологии Республики Узбекистан /137/ показало, что к настоящему времени наиболее крупным и хорошо изученным месторождением является Гушсайское, расположенное в Кураминском хребте на левом берегу Ангреной долины, в 10-12 км от железной дороги Ташкент – Ангрено (Ахангаранской район, 7-8 км к югу от села Аблык). Площадь месторождения составляет 6 км². Запасы руд составляют 130,5 млн.тонн с содержанием алуниита в среднем 35%.

Заслуживает интерес Аксакатинское и Акташское месторождения. Так, Аксакатинское месторождение находится в 35 км от железнодорожной станции и Барраж соединено с ней грунтовой дорогой. Мощность алунитовых пород 20 м, в виде карниза они прослеживаются на протяжении 1 км. Содержание алунита в руде составляет 35-37%. Акташское месторождения расположено на южном склоне хребта Каржантау в верховьях одноименной реки-правого притока р. Чирчик. Общие прогнозные ресурсы оцениваются в 12-15 млн. тонн. Однако следует отметить, что разработка алунитов в этом районе не целесообразно по экологическим соображениям. Акташ, как известно, является курортной зоной, с климатическими условиями, благоприятными для лечения заболеваний органов дыхания. Аксакатинское месторождение алунитов находится на северных склонах Чаткальского хребта, на правобережье одноименной реки. Отсутствие подъездных путей к выходам алунитов затрудняет в ближайшие время их добычу и транспортировку.

Анализ всех месторождений алунита, которые расположены географически в основном в Ташкентской области, показал, что наиболее перспективным и рентабельным с точки зрения использования алунита для производства расширяющихся вяжущих является Гушсайское месторождение. Следует также отметить его близость к Ахангаранскому цементному комбинату. В связи с этим за основную сырьевую базу для производства расширяющего компонента, бесспорно следует принять Гушсайское месторождения.

Для изучения физико-химических характеристик этого месторождениями, под руководством доктора технических наук Ходжаева С.А. при участии сотрудников института геологии и геофизики АН РУз, отобрано необходимое количества алунитовой руды, представляющей собой мрамороподобную породу достаточно плотной структуры желтого кремового цвета. Для этого были организованы поездки на Гушсайское месторождения, где оценивалась: доступность рудных тел (наличия

подъездных путей); степень обнаженности породы; качество и количество алуниита в пределах обследованных участков. На площади Гушсайского месторождения имеются 6 участков: Гульдараминский,, Ачисайский, Сеченекский, Каттасайский и др.

Ознакомление с Ачисайским участком показало, что подъездные пути разрушены, степень обнаженности рудных тел невысокая; здесь широко проявлены процессы каолинизации, затрудняющие выделение пород с высоким содержанием алуниита. Примерно такая же картина наблюдалось и на других участках.

Благоприятные параметры имеет Гульдараминский участок Гушсайского месторождения (рис.2.1.). Алуниитизированные породы, содержащие алуниит в пределах 39-55%, отличаются высокой твердостью, в обнажениях дают крутые скальные выходы (рис 2.2.). тела алуниитосодержащих пород имеют значительную протяженность (десятки метров) обнажаются в стенах высотой до 10-20м.

Отбор технологических проб для исследований производился именно на этом участке (рис.2.3.) в двух различных зонах. Замесы алуниита на Гульдараминском участке составляют 50-60 млн. тонн, а на Ачисайском- около 90млн.тонн./136/. В перспективе можно восстановить подъездные пути и задействовать и этой участок.

2.2. Характеристики алуниитосодержащей породы, портландцементного клинкера, извести и гипса, используемых в экспериментах.

Для проведения исследований, по подбору составов расширяющегося компонентов и расширяющихся вяжущих на его основе были созданы необходимые количества алуниита, портландцементного клинкера АО «Ахангаранцемент», извести, получаемой обжигом при температуре 900-1000°С ахангаранского известняка, и гипса используемого на заводе для

регулирования сроков схватывания цемента. Выбор портландцементного клинкера АО «Ахангаранцемент» связи с тем, что завод на небольшом расстоянии от Гушсайского месторождения. Но в перспективе будет важно организовать производство НЦ и на других цементных заводах республики, в первую очередь на Навоинском цементном комбинате, так как по данным /135/ в том регионе тоже имеются малоразведанные залежи алунитосодержащих пород.



Рис. 2.1. Вид на посёлок Гульдарама.

а)



б)



Рис. 2.2. Скальные выходы алунитосодержащих пород на отдельных зонах Гульдараминского участка.

а)



б)



в)



Рис 2.3. Отбор (а) и оптический анализ (б) проб алунитосодержащих пород. Вид (в) породы в сколе.

Были определены химические составы портландцементного клинкера и алунитовой породы. Кроме того, изучены фазовый состав и микроструктура последнего методами рентгенофазового и электронно-микроскопического анализа. Результаты исследований состоят из следующих:

1. Химический состав использованного в работе портландцементного клинкера включает (масс %): CaO-64,22; SiO₃-22,84; Fe₂O₃-4,0; MgO-1,56; SO₃-следы ; Н.О.-0,15; П.п.п.- 0,33.

На основе результатов химического анализа был определен минералогический состав клинкера:

$$C_3S = 4,07 \cdot 64,22 - 7,6 \cdot 22,84 - 6,7 \cdot 4,78 - 1,42 \cdot 4,0 = 261,3754 - 173,584 - 32,026 - 5,68 = 50,0854\%;$$

$$C_2S = 8,6 \cdot 22,84 + 5,07 \cdot 4,0 - 3,07 \cdot 64,22 = 196,424 + 24,2346 - 197,1554 = 27,7832\%;$$

$$C_3A = 2,65 \cdot 4,78 - 1,7 \cdot 4,0 = 12,667 - 6,8 = 5,87\%;$$

$$C_3AF = 3,04 \cdot 4,0 = 12,6\%.$$

Таким образом, минералогический состав портландцемента состоит из трехкальциевого силиката -50,085%; двухкальциевого силиката 27,78%; трехкальциевого алюмината -5,87%; и четырехкальциевого алюмоферрита -12,6%. Минералогический состав клинкера позволяет отнести его к алунитовому портландцементу – наиболее широко применяемому в строительстве.

2. Алунисты Гушсайского месторождения представляют собой плотную (плотность 2,6-2,8 г/см³), твердую (твердость 3,5-4,0 НВ) рудную породу розового, желтого или серого цвета с желтовато – оранжевыми прожилками.

Химический состав алунисты первого участка включает (масс %): SiO₂-60,42; Al₂O₃-28,98; CaO- Н.обн.; Fe₂O₃-0,32; K₂O-0,06; Na₂O-0,04; SO₃-0,32; П.П.П.-9,86.

Дифрактограмма алунисты обнаруживает интенсивные полосы:

Кварца-β-SiO₂ при d/п=0,425; 0,335; 0,245; 0,228; 0,223; 0,212; 0,181; 0,279; 0,256; 0,250; 0,238; 0,232; 0,197; 0,189; 0,179; 0,162; НМ.

Линии обнаруживаемые при $d/p=0,397; 0,379; 0,308; 0,293; 0,220; 0,189; 0,185; 0,155$ НМ, относятся к дифракционным отражениям алунита. Судя по интенсивности линий, составляющих породу минералов, можно констатировать тот факт, что в ее составе преобладает содержание кварца и каолинита, а содержание алунита относительно небольшое (рис.2.4)

Химический состав алунитовой породы второго участка включает (масс.%): $SiO_2-35,04; Al_2O_3-35,23; CaO-2,8; MgO-0,3; FeO_3-2,8; K_2O-5,86; Na_2O-0,04; SO_3-8,3; П.П.П.-9,62$.

Из полученных данных видно, что пробы первого участка характеризуются минимальным содержанием алунита, а на втором его значительно больше. В породе содержится различные количество алюмосульфатов, пригодных для получения расширяющегося компонента.

Сопоставления этих результатов с данными института геологии и геофизики АН РУз /136/, полученных в результате исследований, проведенных в 1997-1999 г.г., показывает, что содержание алунита в породе имеет значительный разброс. Так, по данным полевой алунометрии, термического и рентгено – фазового анализов, содержание окислов алюминия Al_2O_3 и SO_2 в пробах, взятых с различных участков, изменяется по усредненным значениям, рассчитанным по данным трех вышеприведенных методов, соответственно от 19,45 до 29,52% и от 0,32 до 9,53%. Причем, по данным нулевой алунометрии, содержание алунита изменяется от 0 до 58%, а среднее значение составляет 34,5%. Пробы отбирались на 7 участках. Аналогичная картина наблюдается и на других месторождениях. По результатам своих исследований сотрудники института геологии и геофизики АН РУз приходят к выводу, что из трех изученных месторождений алунита (Акташ, Гушсай и Аксак-ата) наиболее приемлемым для возможной добычи и переработка алунитов является месторождение Гушсай.

Исследование микроструктуры алунитовых пород Гушсайского месторождения на электронном микроскопе ЭМБ-100БР методами

одноступенчатых самооттененных угольных реплик показало, что порода довольно плотная, микроструктура мелкозернистая, зерна состоят из мельчайших кристаллов (рис.2,5). Встречаются поры, образовавшийся, видимо, вследствие выделения и прохождения через массу породы вулканических газов в процессе образования алунитовых пород. Кристаллы, отмеченные на рис.2.6. имеющие вид псевдогексагональных чешуек и табличек, расположенных слоями, относятся к группе каолинита. Встречающийся удлиненные волокнистые кристаллы можно отнести к волокнистому кремнезему.

В качестве расширяющегося компонента для получения расширяющихся и напрягающих цементов их портландцементной клинкерной матрице в настоящих исследованиях используется термоактивированный при температуре 600-700⁰С алунит (ТАП). С целью выявления возможности получения достаточной степени расширения и самонапряжения цементного камня были проведены расчеты опытных составов сырьевых смесей для получения расширяющего вяжущего из:

- Термоактивированного алунита и извести;
- Термоактивированного алунита и гипса;
- Термоактивированного алунита, извести и гипса.

Известь, использованная в опытах, получена из известняка, представленных оксидов (масс.%) : CaO-51.52; SiO₂-5.98; Al₂O₃-1.3; Fe₂O₃-0.56; П.п.П.- 38.

Гипсовый камень включает SO₃36.4%. Общее содержание в нем Ca SO₄ ·2 H₂O составляет 77,5%.

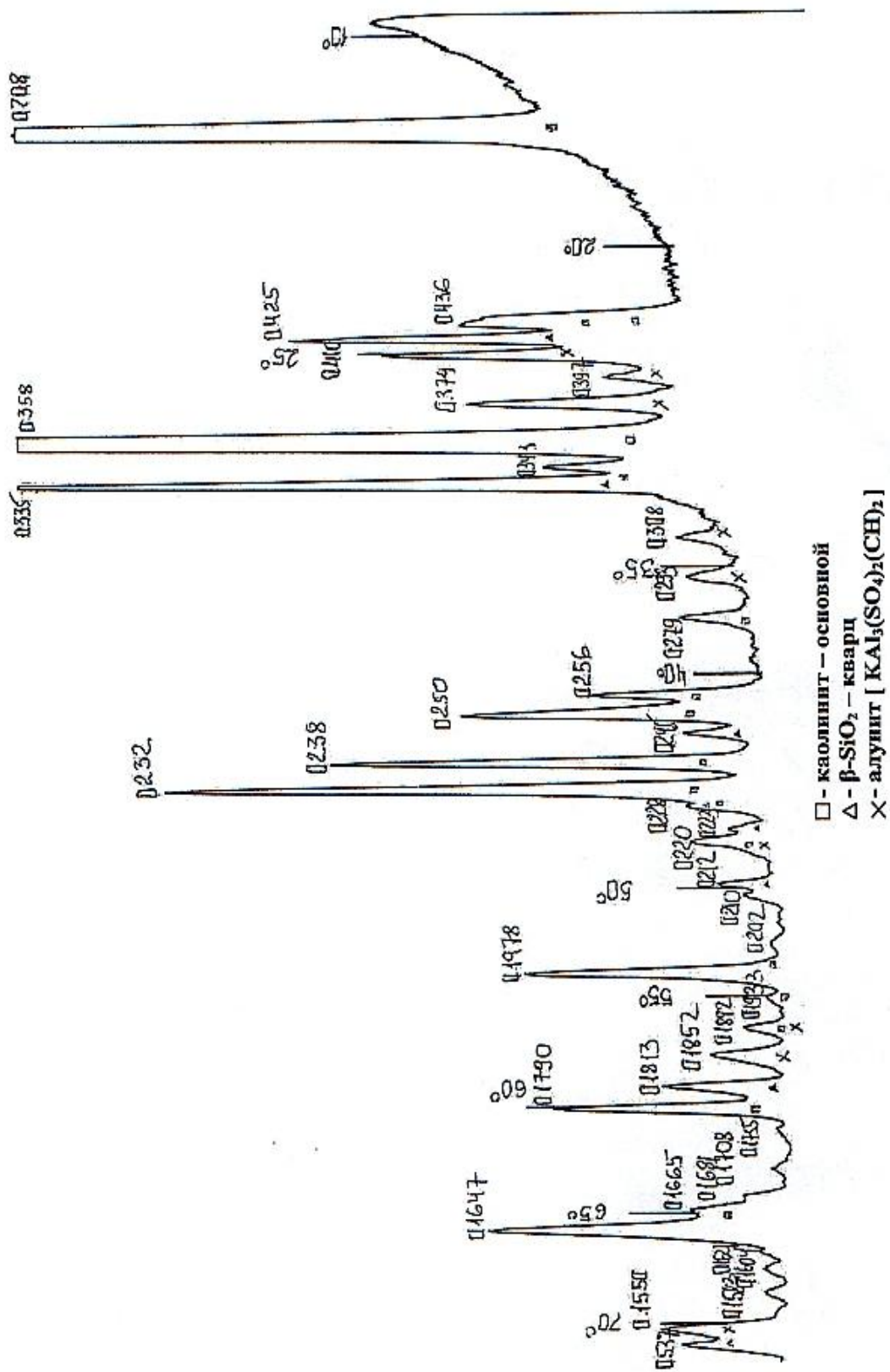


Рис. 2.4. Дифрактограмма alunитосодержащей породы Гущайского месторождения (исходная проба).

2.3. Методика исследований

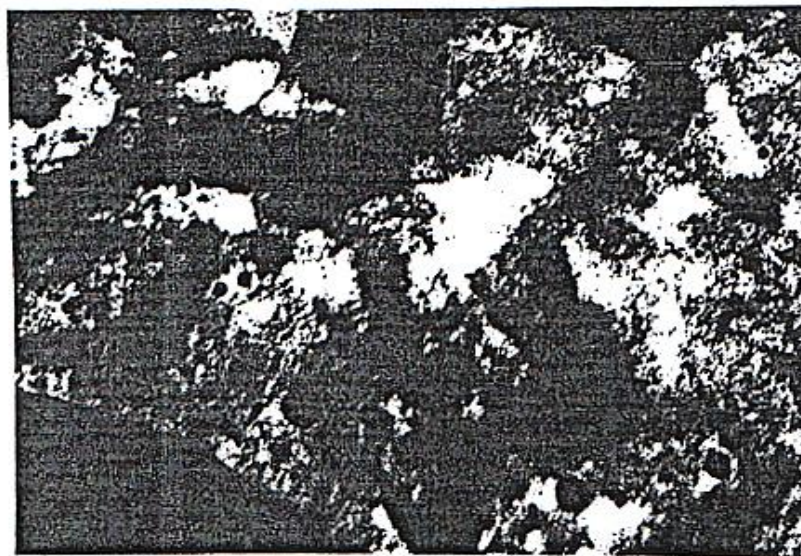
Процессы, лежащие в основе расширения твердеющих цементов, обусловлены совместным действием ряда факторов. В связи с этим для изучения механизма расширения необходимо рассмотреть различные стороны этого явления. Большое значения при этом имеет изучение физико-химических процессов, происходящих при твердении РЦ, и главным образом, образующихся при гидратации компонентов расширяющих добавок /53,58/. Помимо изучения физико-химических процессов, важным также является определения формирование структуры цементного камня.

Составы исследованных цементов с добавкой термоактивированного при температуре 600-700 °С алуниита представлены в таблице 2.1. Из исследуемых составов были изготовлены образцы цементного камня с условной (В/Ц н.г.) нормативной густоты. Для обеспечения сопоставимости результатов исследований для всех составов принято В/Ц=0,3 при изменении В/Ц н.г. в пределах 0,28-0,3. Образцы в течение первых суток хранились в воздушно – влажных условиях (образцы в формах плотно укрывались полиэтиленовой пленкой), а затем в воде. В намеченные сроки образцы были подвергнуты комплексному исследованию для определения:

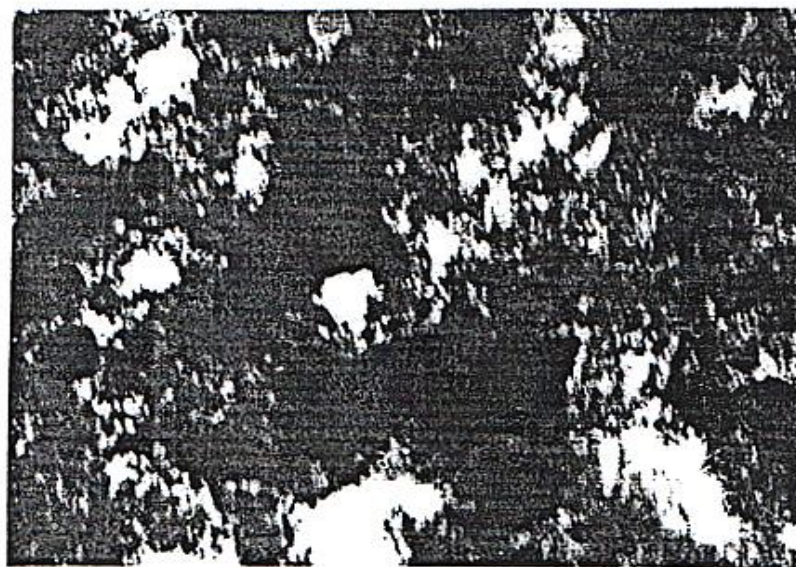
- кинетики и характера кристаллизации расширяющейся фазы цементов гидросульфоамолината кальция (ГСАК) ;
- кинетики связывания гипса;
- фазового состава гидратных новообразований;
- микроструктуры цементного камня;
- линейных деформаций и самонапряжения образцов;
- прочности образцов.

Кинетику связывания воды определяли по потере при прокаливании проб при температуре 600°C, а гипса - химическим анализом по методике Т.И. Розенберг /138/. Изменение фазового состава гидратных новообразований в процессе твердения и расширения цементов изучали с

помощью рентгенофазового (РФА) и дифференциально - термического (ДТА) анализов. Микроструктуру новообразований изучали с помощью методов электронной микроскопии.



x 6000

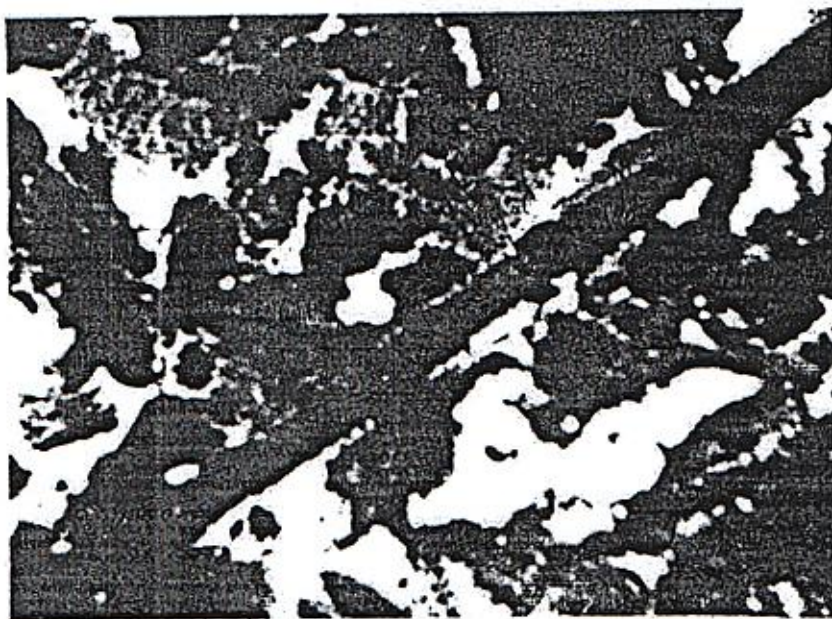


x 7000

Рис. 2.5. Электронные микрофотографии реплик с поверхности скола алунитовой породы Гушсайского месторождения.



x 6000



x 6000

Рис. 2.6. Электронные микрофотографии реплик с поверхности скола алунитовой породы Гушсайского месторождения.

Составы исследованных РЦ и НЦ

№№ составов	Содержание, % по массе			
	ПЦ клинкер	ТАП	Гипс	Известь
1	2	3	4	5
1-1	95	-	5	-
1-2	90	10	-	-
1-3	80	20	-	-
1-4	70	30	-	-
1-5	60	40	-	-
1-6	50	50	-	-
2-1	85	10	5	-
2-2	75	20	5	-
2-3	65	30	5	-
2-4	55	40	5	-
3-1	80	10	10	-
3-2	70	20	10	-
3-3	60	30	10	-
3-4	50	40	10	-
4-1	85	10	-	5
4-2	75	20	-	5
4-3	65	30	-	5
4-4	55	40	-	5
5-1	80	10	-	10
5-2	70	20	-	10
5-3	60	30	-	10
5-4	50	40	-	10
6-1	80	10	5	5
6-2	70	20	5	5
6-3	60	30	5	5
6-4	50	40	5	5
7-1	70	15	5	10
7-2	60	25	5	10
7-3	50	35	5	10

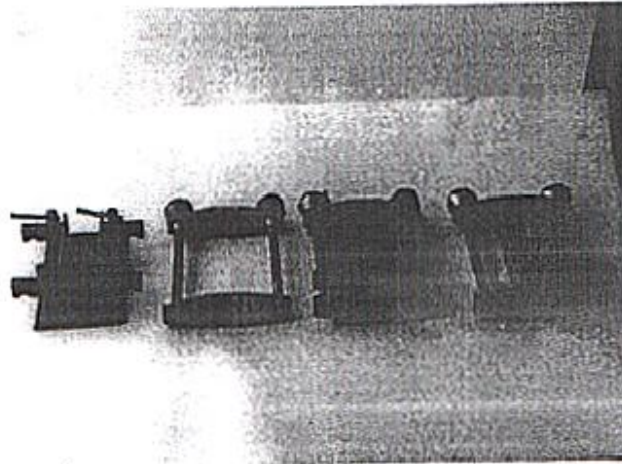
Линейные деформации и самонапряжение определяли по методике, регламентированной ТУ 5334-072-02495336-98 (разработаны НИИЖБ), на образцах 30 x 30 x 100 мм и 40 x 40 x 160 мм как свободного, так и

связанного расширения, при твердении их в динамометрических кольцах и кондукторах. Методика определения свободного и связанного расширения приведена на рисунке 2.7.

Прочность цементов определяли на образцах 14,1 x 14,1 x 14,1 мм состава 1 : 0, а также испытанием половинок балочек размером 40 x 40 x 160 мм состава 1 : 1 на нормальном песке по ТУ 5334-072-02495336-98.

Линейное расширение, самонапряжение бетонов на алунитовых РЦ определяли на образцах размером 50 x 50 x 250 мм и на образцах 100 x 100 x 100 мм, твердевших свободно и в динамометрических кондукторах, соответственно, по методике /139/, а прочность – на образцах бетона 100 x 100 x 100 мм по ГОСТ 10180-90, твердевших в свободном и в связанном состоянии. Водонепроницаемость бетона определяли по ГОСТ 12270.5-64* на образцах-цилиндрах высотой и диаметром по 150 мм.

а)



б)

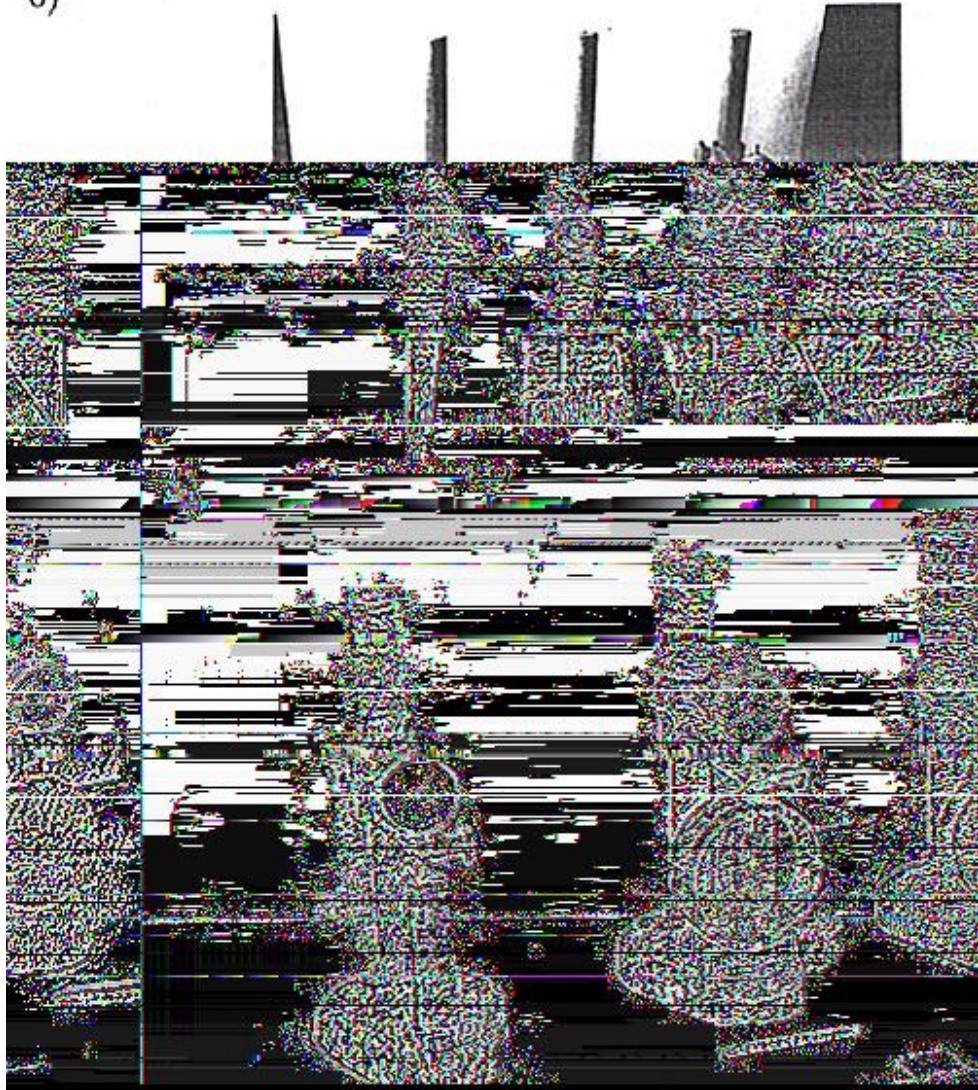


Рис. 2.7. Методика определения свободного и связанного расширения (самонапряжения) НЦ.

а – формы с динамометрическими кондукторами;

б – измерение свободного и связанного расширения раствора и бетона;

в – то же, с использованием динамометрических колец.

Выводы по II главе

1. Алуни́т – природный минерал, относящийся к группе основных сульфатов. При комнатной температуре алуни́т почти не растворим в воде, разбавленных кислотах и аммиаке, но легко растворяется в щелочах и фтористоводородной кислоте.

2. Наиболее крупные залежи находятся в Гушайском, Аксакатинском, Ургазском, Айналминском, Зиннан-Теракминском месторождениях и проявлениях.

3. Результаты исследований настоящих работ, а также сотрудников геологии и геофизики АН РУз, позволили сделать вывод о том, что из трех изученных месторождений алуни́та наиболее приемлемым для возможной добычи и переработки алуни́тов является месторождение Гушсай.

4. Большое значение имеет изучение физико-химических процессов, происходящих при твердении РЦ, и главным образом, исследование характера и кинетики кристаллизации новых фаз, образующихся при гидратации компонентов расширяющихся добавок.

5. Кинетику связывания воды определена по потере при прокаливании проб при температуре 600°C , а гипса – химическим анализом по методике Т.И. Розенберг /138/.

6. Были определены линейные деформации и самонапряжение по методике, разработанной НИИЖБ (Россия).

ГЛАВА III. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ, СВОЙСТВ И ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА НА АЛУНИТОВОМ НАПРЯГАЮЩЕМ ЦЕМЕНТЕ

3.1. Формирования структуры и физико – механических свойств бетона на различных вяжущих

Широко применяемый в настоящее время бетон на основе портландцемента является одним из основных строительных материалов и по праву занял ведущие место в производстве монолитного и сборного железобетона. Однако, как уже отмечалось выше, усадочные деформации, сопровождающие твердения портландцемента, наличие в структуре бетона множества дефектов в виде пор, трещин, других несплошностей и измерения температурно – влажностных условий эксплуатации вынуждают принимать дополнительные меры для повышения трещиностойкости, водонепроницаемости, морозостойкости, коррозионной стойкости и других важных технических и эксплуатационных свойств железобетонных конструкций. Все эти меры, как правило, достаточно сложны, значительно удорожают строительство и не всегда дают ожидаемые результаты. В частности, при прочих условиях получение высокопрочных бетонов зависит от активности цемента.

Поэтому широкое применение высокопрочных бетонов сдерживается отсутствием высокомарочных цементов, а традиционная технология бетона, предусматривающая повышенные расходы вяжущего при их получении приводит к значительным усадочным деформациям, появлению микротрещин и других дефектов в структуре цементного камня и бетона.

Учитывая то обстоятельство, что у нас в республике производится в основном портландцемента М400, представляется важным определить пути улучшения структуры и повышения физико-механических свойств бетона на этом цементе за счет придания ему нового качества-способности

расширяется, а не претерпевать усадку. Этому и посвящены настоящие исследования, направленные на получение расширяющих цементов на базе матричного, портландцементного клинкера и термоактивированного алунита, изложенных в предыдущих главах настоящей работы.

Современные теоретические представления о бетоне как капиллярно пористом материале с иерархическим строением трактуют его как двухкомпонентную среду, состоящую на различных микро – и макро уровнях ряд дефектов в виде пор и трещин /28,140/. Вопросы прочности бетона при этом рассматривают исходя из предпосылке, что деформированным состоянием около дефектов его структуры. Разрушения бетона начинается при достижении цементным камнем или растворам предельной растяжимости именно в зоне дефектов структуры, являющихся концентраторами напряжений. Из теории упругости /142/ известно, что вокруг отверстия в материале, подвергнутом сжатию наблюдается концентрация самоуравновешенных растягивающих и сжимающей сил. Поскольку в бетоне имеется большое количество пор, то напряжения у одного отверстия накладывается на напряжения у отверстия, расположенного рядом. Вследствие этого в образце, подвергнутом осевому сжатию, возникают как продольные сжимающие, так и поперечные растягивающие напряжения у отверстия, расположенного напряжения вторичное поле напряжений.

Так как сопротивления бетона растяжению на порядок ниже, чем сжатию, а прочность сцепления цементного камня с заполнителем может быть и того меньше, вторичные растягивающего напряжения в сжатом бетоне, еще далеко от исчерпания прочности, местами достигают предельных значений и приводят к образованию микротрещин которые поступательно переходят на макротрещин.

В сжатом бетоне напряжения концентрируются также на более жестких (с большим модулем упругости) частицах, например, на плотных заполнителях, вследствие чего по плоскостям соединения этих частиц

возникают усилия, стремящиеся нарушить их связь. Более того, в структуре бетона не используется высокая прочность крупного плотного заполнителя. Напротив, роль заполнителя ограничивается лишь концентрацией структурных напряжений, связанных как с непроявившейся усадкой раствора. Зерна заполнителя как уже отмечалось, можно рассматривать с точки зрения механики материала как включения, создающие неоднородность и прочность матрицы.

Исходя из вышеизложенного анализа, можно отметить, что значимыми резервами улучшения структуры, повышенной прочности и других физико-механических свойств цементных бетонов являются: устранение или предельное уменьшение усадочных явлений в микро – и макроструктуре бетона; максимальное исключение условий возникновения концентраций напряжений в элементах структуры бетона за счет значительного снижения объема несплошностей в виде трещин, пор и пустот; повышение однородности (плотности) и предельной растяжимости его растворной составляющей (цементного камня); вовлечение крупного заполнителя в работу бетона.

Как показали исследования, это может быть достигнуто за счет использования разновидностей расширяющего цемента – напрягающего. Его способность расширяться и в стесненных условиях самонапрягать бетон и железобетон, уплотняя его структуру, позволяет увеличить прочность, трещиностойкость и непроницаемость бетона на его основе /90,100,102,110/.

В результате экспериментальных исследований /102/ установлено, что применения напрягающих цементов на сульфоалюминатной основе (САНЦ) с использованием глиноземистого шлака /102/ и на сульфоферритной основе (СФНЦ) Кантского цементного комбината /110/ позволяет при экономичных расходах вяжущего получать бетоны на гранитном щебне с прочностью 32,0-72,0 МПа и 54,0-110 МПа, соответственно, керамзитобетон с прочностью 30,0-40,0 МПа и 36,0-68,0 МПа на малопрочном керамзите, соответственно, при близких значениях плотности в пределах 1300-1700 кг/м³.

водонепроницаемость и морозостойкость бетонов были более 2,4 МПа и выше F400, соответственно / 95,102,109.110,141/.

Анализ полученных данных на уровне макроструктуры показал, что изменение прочности напрягающего бетона на плотных и пористых заполнителях в зависимости от расхода вяжущего и прочности растворной составляющей, подчиняясь известным закономерностям, установленным для цементных бетонов, имеет отличительные особенности, связанные с его структуры и свойств в условиях расширения и самоупрочнения.

В тяжелом бетоне, как на САНЦ, так и на СФНУ, увеличения прочности растворной составляющей приводит к пропорциональному увеличению прочности бетона. Здесь прослеживается интересная закономерность, присущая обоим видам Н.Ц. Так если при относительно меньших значениях прочности раствора прочность бетона практически ей равна, то при увеличении прочности напрягающего бетона преимущественно выше. Это видимо, связано с тем, что в обычном бетоне увеличение расхода цемента приводит как к соответствующему увеличению прочности бетона, так и к увеличению его усадки. В результате из-за роста растягивающих напряжений в растворной составляющей, обусловленных препятствием, оказываемым зернами крупного заполнителя развитию процессов усадки на уровне макроструктуры бетона, прочность матрицы (цементного камня). В напрягающих же бетонах, напротив, увеличения расхода вяжущего приводит к росту расширения и условиям ограничения его развития – к увеличению самоупрочнения бетона. В условиях самоупрочнения как растворная составляющая, так и крупный заполнитель испытывают благоприятные сжимающие напряжения, а также повышается уровень обжатия крупного заполнителя и прочность его сцепления с раствором. Это, в свою очередь, приводят к увеличению предельной растяжимости раствора и бетона в целом. Таким образом, благодаря самоупрочнению крупный плотный заполнитель вовлекается в работу бетона, и более полно используются его прочностные и деформационные свойства, что и объясняет более высокие

значения прочности напрягающего бетона по сравнению с его растворной составляющей.

Увеличения прочности напрягающего керамзитобетона с увеличением прочности раствора (расхода цемента), по сравнению с бетоном на плотном заполнителе носит криволинейный характер. То есть прочность керамзитобетона достигнув определенного предельного значения, при дальнейшем увеличении раствора практически мало изменяется. Однако керамзитобетон на НЦ, подчиняясь известным закономерностям, отличается более высокими показателями предельной прочности, которую можно достичь на данном заполнителе. Такое повышение предельной прочности легкого бетона на данном пористом заполнителе объясняется тем, что в нагруженном бетоне предельная деформативность зерен керамзита повышается по сравнению с деформативностью зерен, испытанных вне бетона, за счет появления известного эффекта их предварительного обжата (эффект обоймы) в условиях развития самоупрочнения бетона. Причем следует особо отметить, что это повышение тем значительнее, чем выше прочность раствора, окружающего зерна керамзита. Это особенность деформирования макроструктуры напрягающих бетонов является тем принципиально новым, что вносит применение НЦ в известные представления о формировании структуры и технологии цементных бетонов.

3.2. Особенности подбора состава и определения физико-механических свойств бетона на алунитовом расширяющем цементе.

Как известно, в качестве стандартного состава при испытаниях и практическом применении НЦ было признано целесообразным использовать цементно-песчаный раствор состава 1:1 по массе. Последующие исследования, связанные с внедрением НЦ, показали необходимость дальнейшего снижения расхода цемента и применения напрягающего бетона исходя из предпосылки сохранения состава растворимой части бетона

приблизительно равным 1:1 (цемент: песок) по массе. Позже в НИИЖБ подход к установленному методу подбора состава напрягающего бетона был изменен. Его особенность заключается в сохранении расхода щебня (по насыпному объему) независимо от принятого расхода НЦ. Дальнейшие работы были посвящены уточнению и совершенствованию методов подбора состава напрягающего бетона, /99,102/. В них изучалось влияние содержания и максимальной крупности заполнителя, в зависимости от расхода цемента, на самонапряжение, свободное линейное расширение, связанную и не связанную прочность и другие свойства напрягающего бетона.

Ранее предполагалось, что заполнитель особенно крупный, должен существенно снижать величину самонапряжения, связывая деформации расширения и тем самым энергию расширения цементного камня. Применения цементного раствора состава 1:1 обуславливало повышенный расход цемента, так как цементное тесто не только заполняло пустоты между зернами песка, но и раздвигало их, создавая между ними цементную прослойку. Коэффициент полезного действия энергии расширения НЦ оказался в с существенной зависимости от удельной поверхности заполнителя, возрастая с увеличением размере зерен. Применения крупного заполнителя в напрягающем бетоне сократило расход песка и тем самым удельную поверхность заполнителей, что оказало положительное влияние на развитие процессов расширения напрягающего бетона /199/. Вместе с тем, несмотря на очевидность положительного влияния крупно заполнителя, в указанной работе автор ограничился рассмотрением составов напрягающего бетона лишь с традиционной структурной с «плавающим» заполнителем, при его расходах 600,730 и 860 л/м³.

В работе /102/, проведенной в Уз ЛИТТП, изучалось самонапряжение и прочность бетона с повышенным содержанием крупного заполнителя (до 1000 л/м³/) в зависимости от его виде и расход, содержания песка в смеси заполнителей, при различных расходах НЦ и других факторов. В

экспериментах с целью выявления максимального самоупрężения при постоянных расходах НЦ и W/C изменяли расход крупного и мелкого заполнителя фракции 0-5 и 5-20 соответственно как наиболее широко используемых в практике строительства. Выбор максимальной крупности щебня обусловлен также тем, что ее увеличение должно способствовать повышению самоупрężения бетона при экономичных расходах НЦ. Увеличение коэффициента полезного действия энергии расширения НЦ при этом можно объяснить тем, что с увеличением крупности зерен заполнителя до 20 мм появляется возможность создания более плотной его упаковки в структуре бетона и уменьшения межзерновой пустотности за счет создания непрерывной гранулометрии мелкого и крупного заполнителей при оптимальном их сочетании. В результате были установлены оптимальные границы (по достигаемому самоупрężению) увеличения расхода крупного заполнителя в зависимости от расхода напрягающего цемента.

На основе анализа и обобщения работ в этой области в справочном пособии /139/, разработанном в НИИЖБ при участии Уз ЛИГТИ и других организаций, приведены особенности расчета состава бетона с нормируемой величиной самоупрężения.

В настоящей работе нами, основываясь на известных подходах и методах подобраны составы бетона с компенсированной усадкой и бетона для самоупрężенных конструкций на основе алунитовых расширяющих цементов АНЦ-10 и АНЦ-20 с целью определения их основных физико-механических свойств. В таблице 3,1. представлены подобранные составы исследуемых бетонов и их физико - механические свойства.

Таблица 3.1.

Составы и основные физико-механические свойства бетонов на АНЦ

Марка цемента	Расход материалов, на /м ³				Физико-механические свойства в 28-суточном возрасте		
	Цемент, кг	Щебень, кг	Песок, л/кг	Вода, л	Прочность, МПа	Самонапряжение, МПа	Водонепроницаемость
АНЦ-10	400	950/1350	350/515	176	39,0	0,5	> W12
АНЦ-20	400	- " -	- " -	- " -	44,2	0,8	> W12
АНЦ-20	500	875/1243	360/530	190	51,0	1,2	> W12
АРЦ	600	-	800/1170	238	35,0	0,3	> W12
АНЦ-20 (по /95/)	500	-	-	-	41,2	1,5-1,75	W10
	700	-	-	-	25,0	1,2-1,8	-
НЦ-20 М 500 (по /101/)	400	950/1366	350/520	176	46,2	0,9	> W12
	500	875/1252	360/536	190	54,3	1,23	> W12

В экспериментах использовались подобранные ранее составы АНЦ и АРЦ, гранитный щебень фракции 5-20мм и речной песок Куюлюкского карьера фракции 0-5мм, отвечающие требованиям ГОСТ 8267-93*** и ГОСТ 8736-93** соответственно. Бетонные смеси приготавливались в лабораторном бетоносмесителе принудительного перемешивания. Приготавливали смеси с умеренной подвижностью 1-4см осадки стандартного конуса, определяемой по ГОСТ 10181-2000.

Прочность бетона определялась на образцах размером 10x10x40см, твердевших в динамометрических кондукторах по методике, регламентированной в справочном пособии /139/. Водонепроницаемость бетона определялась по ГОСТ 12730.5-84*. При этом образцы всех составов выдержали испытания при давлении воды 1,2 МПа, что соответствует максимальной нормируемой величине марки по водонепроницаемости бетонов.

В таблице 3.1. приведены для сравнения данные работы /119/ по бетонам на АНЦ, полученным с использованием цементного клинкера Подольского цементного завода, дегидратированного при 700⁰С алунита Гушсайского месторождения, природного гипса при соотношении компонентов 68:22:10, соответственно, а также работы /102/ по напрягающим бетонам на НЦ-20 М500 Усть - Каменогорского завода, полученного с применением глиноземистых шлаков.

Результаты настоящих исследований дают удовлетворительной сходимостью с данным /101,119/ при расходе АНЦ 500кг/м³ бетона.

Что касается состава бетона на АНЦ с расходом 700кг/м³, то полученные данные указывают на снижение прочности бетона с увеличением расхода цемента. К сожалению, автор не приводит состав бетона полностью. Потому можно только догадываться о причинах такого явления. Вместе с тем, как нам представляется, это связано с нерациональным подбором состава бетона, о которая говорилось ранее, и возможно, из-за большой величины свободного расширения бетона (от 0,6 до 1,4%), приводящего к ослаблению его структуры.

Как показали результаты настоящих исследований, режимы и условия твердения оказывают существенное влияние на имеющихся процессы в таких цементах и практически мало отличаются от установленных /146,90/ ля НЦ основе глиноземистого цемента или шлака. ТВО при 90⁰ замедляет процессы расширения и, следовательно, образования этtringита. При ТВО с 60⁰С процессы расширения, самоупрочнения и наборе прочности развиваются взаимосогласованно. Это обуславливает применение таких режимов при производства самоупрочненных конструкций без водного хранения в заводских условиях /90,102). Но при твердении напрягающего цементов без тепловой обработки водные выдерживание является обязательным условиям, в отношении расширяющихся – достаточно защитить от высыхания, поскольку основная часть расширения происходит в раннем возрасте (до 1 сут).

В целом проведенные опыты показывают эффективность применения алунитовых расширяющих цементов для улучшения физико-механических свойств бетонов. Однако следует отметить, что этих данных, безусловно, не достаточно для выявления и установления особенностей подбора состава, технологии и свойств бетонов при применении алунитовых расширяющих цементов.

Создание условий направленного регулирования и получения бетонов с заданными свойствами требует проведения и специальных самостоятельных исследований с учетом влияния всего технологических факторов на формирование структуры и свойств бетонов на таких специфических вяжущих.

3.3. Рациональные области применения бетонов на алунитовом расширяющем цементе и технико-экономическая эффективность их использования в строительстве

Судя по прогнозам, в XXI столетии бетон по-прежнему будет держать свое главенствующее положение, а следовательно, сохранится и актуальность таких вопросы как его надежность, долговечность, способность сопротивляется силовым воздействиям при неблагоприятном их сочетании с внешним, в том числе природно-климатическими факторами. Одним из путей решения этих вопросов является, как уже отмечалось выше, применение расширяющего цемента и в первую очередь одной из его наиболее разновидностей- напрягающего цемента. Многолетние исследования и практический опыт показали, что НЦ целесообразно использовать не только для создания в конструкциях самоупрочения но и в так случаях, когда необходимо при этом существенно улучшить свойства бетона и конструкции.

Напрягающий цемент является высокоэффективным вяжущим нового поколения на основе портландцемента. В затвердевшем состоянии он

обладает особо плотной структурой, отличающейся практически полной водонепроницаемостью, высокой прочностью при сжатии, трещиностойкостью и долговечностью. Таким же свойствами обладают и изготавливаемые на его основе напрягающие бетоны.

Опыт использования НЦ в строительстве, в том числе и в Узбекистане, характеризуются использованием для его получения дорогостоящего и относительно дефицитного глиноземистого цемента. Это и являлось основной причиной сдерживания его применения в массовых масштабах.

Как показали результаты настоящих исследований, полученные нами расширяющие цемента на основе термоактивированного алуниста Гушсайского месторождения по своим свойствам мало отличаются от НЦ и глиноземистом цементе. После соответствующих исследований особенности бетонов на их основе, конкретизирующих требования к технологии их применяется в сборной и монолитных конструкциях различного назначения, их можно успешно использовать в строительстве.

Учитывая особенности физико-механическая свойств напрягающих бетонов, в том числе на АНЦ, следует отметить наибольшую эффективность их применение в конструкциях, в которых важным является обеспечения трещиностойкости, водонепроницаемости, надежности и долговечности по условиям их эксплуатации, особенно в регионе с резко континентальным сухим жарким климатом и высокой сейсмичностью. Область рационального применения напрягающих бетонов приведена в приложениях.

С учетом условий эксплуатации конструкций могут использоваться: АНЦ-10-для компенсации усадки и обеспечения водонепроницаемости бетона, для заполнения стыков в сборно-монолитных конструкциях и зачеканки швов в конструктивных элементах метро, в стыках напорных и безнапорных труб и др. кроме того, АНЦ марок по прочности М400 и М500 могут с большим эффектом использоваться вместо равнопрочных портландцементов практически в любых сборных и монолитных сооружениях. При получении равноправных бетонов в этих случаях

достигается экономия цемента в пределах 10-20% по сравнению с портландцементом той же активности. При этом существенно повышается водонепроницаемость и усадочная трещиностойкость таких бетонов.

В последнее время в практике строительства различных зданий в Москве используются бетоны с компенсированной усадкой для возведения ограждающих конструкций подземной части зданий - фундаментных плит и стен. Эти конструкции являются несущими и одновременно, благодаря полной водонепроницаемости напрягающего бетона, выполняют функции жесткой гидроизоляции. Опыт применения таких конструкций показал высокую техника-экономическую эффективность их возведения за счет исключения оклеечной гидроизоляции, сокращения трудозатрат и сроков строительства. Благодаря повышению надежности и долговечности ожидается снижения эксплуатационных затрат в 1,5 раза за счет увеличения в 2-3 раза межремонтных сроков.

В условиях повышения уровня грунтовых вод во многих городах Узбекистана и, главным образом, в столице Ташкенте это направление приобретает особую актуальность для строительного комплекса республики. Перспективным является для использования напрягающих бетонов, как уже отмечалось выше, в монолитных полах производственных и общественных зданий, покрытиях дорог и аэродромов; водохозяйственном и гидротехническом строительстве, где это позволяет создать водосберегающие оросительные системы, повышать водонепроницаемость и долговечность сооружений, что наиболее актуально для республики Центральной Азии.

Конструктивные решения монолитных покрытий полов, эксплуатационных кровель, дорог и аэродромных покрытий из напрягающего бетона отличаются меньшей трудоемкостью и материалоемкостью за счет их возведения бесшовными или с меньшим количеством деформационных швов. Одной из важных эксплуатационных характеристик таких конструкций является их износоустойчивость, которая в основном определяется

способностью бетона сопротивляется истиранию. Результаты испытаний, проведенных по стандартной методике на круге Боме показали, что сопротивления напрягающего бетона истиранию на 15-20% превышает аналогичные характеристики обычного бетона /104/. Высокая износоустойчивость бетона на НЦ объясняется его прочностными и деформационными свойствами. Повышенном сцеплением цементного камня с наполнителем, а также благоприятным напряженным состоянием компонентов бетона, которые обуславливается самоупрежением.

Отработка конструктивно – технологических решений и оценка эксплуатационных характеристик монолитных покрытий были произведены при строительстве опытных участков: монолитного пола из напрягающего бетона на заводе «Алгоритм»; аэродромного покрытия в Ташкентском аэропорту; дорожного покрытия на участке междугородной трассы Ташкент – Самарканд; эксплуатируемой кровли при устройстве самоупреженного покрытия трибун стадиона «Трудовые резервы» в г. Ташкенте; Теннисный корт спортивно-оздоровительного комплекса «Динамо» (Ташкент).

Результаты строительства и опыт более чем 20-летней успешной эксплуатации самоупреженного покрытия трибун стадиона показали его высокую технико-экологическую эффективность и эксплуатационную надежность. Экологический эффект от его применения взамен покрытия с рулонной гидроизоляцией, определенный в соответствии с /143/, составил 21,79 руб./м², а в целом объекту около 400 тыс.руб. в ценах 1984г. Техничко-экономические показатели сравниваемых вариантов, приведенные в сопоставимые условия, представлены в таблице 3,2. Результаты расчета эксплуатационные затрат, выполненного в соответствии с /144/, даны в таблице 3.3.

Как следует из представленных данных, применение напрягающего бетона привело к снижению сметной стоимости на 27%, а эксплуатационных расходов, за счет увеличения срока службы почти в 10 раз. Причем, если учесть что во всех бетонах использовался достаточно дорогой НЦ на

глиноземистых цементах или шлаках, то применение АНЦ на местных материалах является дополнительным существенным резервом снижения стоимости строительстве и повышения технико-экологических показателей самонапряженных сборных и конструкций.

Таблица 3.2.

Технико-экономические показатели сравниваемых вариантов покрытий (эксплуатируемых кровель) трибун стадиона «Трудовые резервы»

№№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	С рулонной изоляцией		Из самонапряженного железобетона	
			Всего	на 1 м ² покрытия	Всего	на 1 м ² покрытия
1.	Общая площадь покрытия	м ²	18350	-	18350	-
	В том числе площадь опытных участков, выполненных в 1986г.	"-	-	-	700	-
2.	Сметная стоимость, в том числе:	руб.	248454	13,54	181021	9,86
	- выравнивающая стяжка;	"-	15350	0,83	15350	0,83
	- рулонная изоляция;	"-	184338	10,04	-	-
	- армоцементная стяжка;	"-	31144	1,70	-	-
	- стяжка с железнением;	"-	17633	0,96	-	-
	- полиэтиленовая пленка;	"-	-	-	13627	0,74
	- самонапряженная ступенчатая ж/б плита	"-	-	-	150976	8,22
3.	Срок службы	год	5	-	50	-
4.	Эксплуатационные расходы без учета реновации	руб.	31378,5	0,59	3303	0,064

Таблица 3.3.

Расчет эксплуатационных затрат по сравниваемым вариантам покрытий трибун стадиона «Трудовые резервы»

№№ п/п	Наименование	Сметная стоимость 1м ² покры	Долго вечность	ОТЧИСЛЕНИЯ						Всего эксплуат. затрат
				на восстановлен.		на кап.ремонт		на текущий ремонт		
				%	руб.	%	руб.	%	руб.	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Рулонное покрытие	12,70	5	-	-	4,3	0,55	0,32	0,04	0,59
2.	Самонапряженное ж/б покрытие	8,22	50	-	-	0,69	0,056	0,1	0,008	0,064

Важным направлением является использование напрягающего бетона, а также керамзитобетона на основе НЦ в сейсмостойком строительстве при возведении высотных жилых и общественных зданий /145/. При прочих равных условиях напрягающий бетон характеризуется сочетанием высокой прочности и низкой плотности, повышенными величинами предельной сжимаемости и растяжимости по сравнению с обычным бетоном, что позволяет увеличить его сопротивление динамическим нагрузкам (типа сейсмических). По предварительным расчетам замена тяжелого бетона прочностью 30,0 МПа на равнопрочный напрягающий керамзитобетон с плотностью 1600 кг/м³ позволяет снизить массу, например, 16-этажного здания на 30-33% за счет снижения сейсмической нагрузки, обусловленной уменьшением собственной массы здания и меньшими модулем упругости напрягающего керамзитобетона, экономия стали только для одного 9-этажного здания с общей приведенной площадью 6203 м² составляет 15% или около 74 тонн.

В качестве подтверждающего такое положение примера, считаем целесообразным привести ситуацию, когда в 2006 году при строительстве в г. Навои практически на всех возведенных участках появлялось недопустимо большое количество трещин. Детальное ознакомление с состоянием бетона покрытия показало, что в основном все трещины имели усадочное происхождение. Положение усугублялось также сложностью обеспечения проектного класса бетона по прочности (B32,5 или M400) из-за отсутствия

соответствующей марки портландцемента по прочности (М 500), а применение М 400, из-за повышения его расходов, приводило к появлению больших усадочных трещин.

Другое актуальное направления использования алунитовых расширяющих цементов-снижение материалоемкости железобетонных конструкций, является важной народнохозяйственной задачей. Учитывая, что цемент является самым энергоемким и достаточно дефицитным компонентом бетона, можно заключить, что на данный период при данных способах производства и потребления он в значительной степени определяет материалоемкость готовой продукции. Цементная промышленность нашей республики, имея проектную мощность порядка 6,5 млн. тонн цемента, фактически выпускает около 3,5 млн. тонн, что объясняется значительным износом технологического оборудования, медленными темпами технического перевооружения и развития отрасли.

Наряду с мерами по техническому перевооружению цементной промышленности и наращиванию выпуска продукции важным направлением является снижение расхода цемента при производстве железобетона за счет совершенствования его технологии. Экономия вяжущего даже только на один процент высвобождает в строительном производстве более 35,0 тыс. тн цемента. Это обеспечивает дополнительный выпуск порядка 100 тыс.м³ железобетона.

Таким образом, особые физико-механические свойства и высокая эффективность использования напрягающих бетонов в различных областях строительства указывают на перспективность и насущную необходимость организации производства расширяющих цементов у нас в республике. Для этого имеется достаточная сырьевая и производственная база.

Для организации в нашей республике производства доступных и экономичных малоэнергоемких расширяющих вяжущих одним из перспективных направлений является исследование и разработка

технологических основ получения таких вяжущих при использовании алунитовых горных пород, являющихся источника глинозёма.

Выводы по III главе

1. Результаты проведенных исследований показали, что значительными резервами улучшения структуры, повышения прочности и других физико-механических свойств цементных бетонов являются:

- устранение или предельное уменьшения усадочных явлений в микроструктуре и макроструктуре бетона;
- максимальное исключение условий возникновения концентрации напряжений в структурных элементах бетона за счет значительного снижения объема несплошностей в виде трещин, пор и пустот;
- повышения однородности (плотности) и предельной растяжимости его растворной составляющей (цементного камня);
- вовлечение крупного заполнителя в работу бетонов:

2. В тяжелом бетоне, как на САНЦ, так и на СФНЦ, увеличения прочности растворной составляющего приводит к пропорциональному увеличению прочности бетона. При этом прослеживается интересная закономерность присущая обоим видам НЦ. Так, если при относительно меньших значениях прочности раствора прочность бетона практически ей равна, то при увеличении прочности раствора бетона преимущественно выше.

3. Увеличение прочности напрягающего с увеличением прочности раствора (расхода цемента), по сравнению с бетоном на плотном заполнителе носит криволинейный характер. То есть прочность керамзитобетона, достигнув определенного предельного значения, при дальнейшем увеличении прочности раствора практически мало изменяется. Однако керамзитобетон на НЦ, подчиняясь общим закономерностям, отмечается более высокими показателями предельной прочности.

4. Как показали результаты настоящих исследований, режимы и условия твердения оказывают существенное влияние на имеющихся процессы в таких цементах и практически мало отличаются от установленных /46,90/ для НЦ на основе глиноземистого цемента или шлака.

5. Как следует из представленных данных, применения напрягающего бетона привело к снижению сметной стоимости на 27%, а эксплуатационных расходов, за счет увеличения срока службы - почти в 10 раз. Причем, если учесть, что во всех объектах использовался достаточно дорогой НЦ на глиноземистых цементах или шлаках, то применения АНЦ на местных материалах является дополнительным существенным резервом снижения стоимости строительства и повышения технико-экономических показателей самонапряженных сборных и монолитных конструкций.

В целом, особые физико-механические свойства и высокая эффективность использования напрягающих бетонов в различных строительства указывают на перспективность и насыщенную необходимость организации производства расширяющих цементов у нас в республике. Для этого имеется достаточная сырьевая и производственная база.

ГЛАВА IV. ПРИМЕНЕНИЕ АЛУНИТОСОДЕРЖАЩИХ НАПРЯГАЮЩИХ ЦЕМЕНТОВ НА ОБЪЕКТАХ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Технико экономические анализы показывают, что бетон по-прежнему будет оставаться основным строительным материалом и в обозримом перспективе, а следовательно, сохранится актуальность таких вопросов, как его надежность, долговечность, способность сопротивляться силовым воздействиям при неблагоприятном их сочетании в внешними, в том числе климатическими факторами. Одним из путей решения этих проблем является, как уже неоднократно доказывалось выше, применение расширяющего цемента и в первую очередь одной из его наиболее удачных разновидностей – напрягающего цемента. Многолетние исследования и практический опыт применения показали, что НЦ целесообразно использовать не только для создания в конструкциях самонапряжения, но и в тех случаях, когда необходимо существенно улучшить свойства бетона и работы конструкцию.

Напрягающий цемент является высокоэффективным вяжущим нового поколения на основе портландцемента. В затвердевшем состоянии обладает особо плотной структурой, отличающейся практически полной водонепроницаемостью. Такими же свойствами обладают железобетонные конструкции и изделия изготавливаемые на его основе.

Опыт использования НЦ в строительстве, в том числе Узбекистане, характеризуется использованием для его получения дорогостоящего и относительно дефицитного глиноземистого цемента или шлака. Это и явилось основной причиной сдерживание его применения в массовых масштабах.

Как показали результаты исследования, выполненные в рамках настоящей работы, полученные нами расширяющие цемента на основе свойствам мало отличаются от НЦ на глиноземистом цементе. После соответствующих исследований особенностей бетонов на их применения в

сборных и монолитных конструкциях различного назначения, они могут успешно использоваться в строительстве.

В условиях повышения уровня грунтовых во многих городах Узбекистана, в том числе и в Ташкенте, это направления приобретает особую актуальность для строительного комплекса республики. В этом плане перспективным является использование напрягающих бетонов в монолитных полах производственных и общественных зданий, покрытиях дорог и аэродромов, водохозяйственном и гидротехническом строительстве, где это позволяет создать водосберегающие оросительные системы, что наиболее актуально для республик Центральной Азии. Конструктивные решения монолитных покрытий полов, эксплуатируемых кровель, дорог и аэродромных покрытий из напрягающего бетона отличаются меньшей трудоемкостью и материальностью за счет их возведения бесшовными или с меньшим количеством деформационных швов.

Отработка конструктивно – технологических решений и оценка эксплуатационных характеристик монолитных покрытий были произведены при строительстве опытных участков, в частности: монолитного пола из напрягающего бетона на заводе «Алгоритм», аэродромного покрытия в Ташкентском аэропорту, дорожного покрытия на участке международной трассы Ташкент-Самарканд.

Важным направлением является использование напрягающего бетона, а также керамзитобетона на напрягающем цементе в сейсмостойком строительстве, особенно при возведении высотных жилых и общественных зданий. При прочих равных условиях напрягающий бетон характеризуется сочетанием высокой прочности и плотности, повышенными величинами предельной сжимаемости и растяжимости по сравнению с обычным бетоном, что позволяет увеличить его сопротивление динамическим нагрузкам (типа сейсмических). По предварительным расчетам замена тяжелого бетона прочностью 30,0 МПа на равнопрочный напрягающий керамзитобетон с плотностью 1600 кг/м³ позволяет снизить массу на 30-33%. За счет снижения

сейсмической нагрузки, обусловленной уменьшением собственной массы здания и меньшим модулем упругости напрягающего керамзитобетона, экономия стали только для одного 9 этажного здания с общей приведенной площадью 6203м^2 составляет 15 % или около 74 тонн.

4.1. Техническое состояние здания, расположенного в Хамзинском районе г. Ташкента

4.1.1. Описание объекта

Обследуемый объект расположен по адресу: Республика Узбекистан, г. Ташкент, Хамзинский район, ул. Садыка Азымова дом 52А.

В геоморфологическом отношении участок обследуемого объекта относится к поверхностям 4-ой террасы р. Чирчик, сложенной толщей пролювиальных лессовидных грунтов Ташкентского комплекса мощностью 16-17 м.

Грунтовые воды на участке вскрываются на глубине 15-16 м от поверхности земли и практического влияния на фундаменты не оказывают. По данным архивных материалов лессовидные суглинки просадочные. Сейсмичность участка обследования по карте сейсмического микрорайонирования территории и перспективного развития г. Ташкента и его пригородной зоны (карта утверждена Госстроем РУз, приказом № 157 от 22.12.1986 г.) оценивается 8 баллов.

Категория грунтов по сейсмическим свойствам – III.

Глубина сезонного промерзания грунта согласно КМК 2.01.01 – 99 «Климатические и физико-геологические данные для проектирования», таблица 12 составляет 0,44 м раз в 10 лет и 0,7 м раз в 50 лет.

Нормативная снеговая нагрузка – 50 кг/м^2 .

Нормативная ветровая нагрузка – 38 кг/м^2 .

Обследуемое здание построено в конце 30 х годов прошлого столетия и имеет сложную конфигурацию. Оно разделено на три отсека, путем

устройства деформационных швов. Эти отсеки условно именуем торцевые и центральный отсек. Торцевые отсеки двухэтажные, без подвала, а центральный отсек трехэтажный с подвалом. Высота подвала 2,85 м от пола до потолка. Высота первого этажа 3,25 от пола до потолка.

По результатам обмерно – обследовательских работ установлено следующее конструктивное решение:

- фундаменты здания ленточные из монолитного бетона;
- стены здания из жженого кирпича на цементно – песчаном растворе;
- перегородки толщиной 120 мм армокирпичные, а перегородки третьего этажа центрального отсека из деревянных конструкций, т.е. из досок толщиной 35-40 мм, с двух сторон обшитые дранкой и штукатурка. Общая толщина деревянной перегородки 20 см;
 - колонны и ригели монолитные, железобетонные с поперечным сечением 40 x 40 см;
 - перекрытие центрального отсека на отметка 0,00 монолитное, железобетонное. Остальные перекрытия и покрытия здания из деревянных конструкций;
 - оконные рамы и дверные блоки первого и второго этажа алюминиевые типа «Акфа». Оконные рамы и дверные блоки третьего этажа центрального отсека деревянные, изношенные, подлежащие полной замене;
 - Торцевые отсеки отделаны современными облицовочными материалами. На момент обследования на отсеке шли ремонтно – восстановительные работы;
 - Крыше четырехскатная, покрытая профнастилом. Высота конька 2,3 м (до низа продольной центральной балки).

4.1.2. Техническое состояние основных строительных конструкций.

Фундаменты

Фундаменты обследованного здания под несущие кирпичные стены ленточные монолитные из класса бетона по прочности на сжатие В15 (таблица 4.1.). Ширина подошвы фундамента 700 мм (продольные) и 900 мм (поперечные). При этом глубина заложения фундаментов составила – 3,7 м от отметки 0,00 или –3,35 от естественного уровня земли. Боковой защитной гидроизоляции не имеется. На момент обследования недопустимых деформации грунтов основании или фундаментов не установлены. Нарушений целостности, коррозии поверхностей не наблюдается.

При реконструкции здания необходимо устроить отмостки, соответствующие требованиям КМК 2.02.01 – 98 «Основания зданий и сооружений». Попадание воды по фундаментам или в около фундаментное пространство не допустимо.

Рекомендуем предусмотреть и не допускать утечек из водонесущих коммуникаций, т.е. необходим постоянный контроль над их техническим состоянием. Техническое состояние фундаментов можно оценить как работоспособное.

Стены

Стены здания возведены из полнотелого жженого кирпича марки 75 на цементно-песчаном растворе марки 50 (таблица 4.2). толщина кирпичных стен подвального этажа центрального отсека ниже отметки 0,00 510 мм (два кирпича). Толщина стен выше отметки 0,00 также 510 мм (наружные) и 380 мм (внутренние).

На момент обследования повреждения стен в виде трещин или другие дефекты не установлены. Обмерно – обследовательские работы показали, что простенки расположенные в осях 4,9; В не соответствуют требованиям НД, так как ширина этих простенок 0,6 – 0,65м. По требованиям КМК 2.01.03 – 96 таблица 3.2. ширина простенков в районах сейсмичностью 8 баллов с I категорией кладки должна быть не менее 0,9 м. Вскрытием установлено, что

указанные простенки ранее были усилены, обрамлением уголками 56 x 36 x 5 мм. Уголки усиления соединены между собой стальными полосами 510 x 50 x 5 мм. (торцевые) и 600 x 50 x 5 мм (лицевые). Таким образом, эти простенки с учетом ранее выполненных усилений соответствуют требованиям строительных норм.

Нормальное сцепление раствора с кирпичом по неперевязанным швам в среднем составило 2,05 кг/см² (таблица 4.3). это значение соответствует для кладки I категории (требование пункта) 3.5.4. КМК 2.01.03-96 «Строительство в сейсмических районах».

Внутри здания устроен каркас из монолитного бетона класса по прочности на сжатие В15 (таблица 4.1). Поперечное сечение колонн и ригелей каркаса 40 x 40 см. на момент обследования дефекты или повреждения, свидетельствующие об снижении конструктивных характеристик каркаса, не установлены. Каркас находится в работоспособном состоянии.

Перегородки толщиной 120 мм, армокирпичные, а перегородки третьего этажа центрального отсека из деревянных конструкций, состоящих из досок толщиной 35 – 40 мм. Доски с двух сторон обшиты дрянной и оштукатурены. Общая толщина деревянных перегородок достигают до 20 см.

По верху кирпичных стен, на уровне междуэтажных и чердачных перекрытий устроены железобетонные антисейсмические пояса с поперечным сечением 30 (h) x 38 см. Армирование антисейсмических поясов осуществлено из 4 Ø 12 АІ. Следует отметить, что использование арматуры класса А-І в качестве рабочей арматуры можно объяснить отсутствием других классов того периода (3 - годы). Класс бетона антисейсмических поясов по прочности на сжатие В15 (таблица 4.1).

По периметру отсеков возведены парапеты из жженого кирпича. Высота парапета центрального отсека (общая) 95 см, а общая высота торцевых парапетов 60 см. По верху парапетов устроены железобетонные обвязочные

пояса с поперечным сечением 510 x 120 (h) мм. Класс бетона обвязочных поясов по прочности на сжатие В10 (таблица 4.1).

В теле кирпичной кладки предусмотрены железобетонные сердечники с поперечным сечением 20 x 51 см. Шаг сердечников 4,0 м. Армирование сердечников осуществлено продольными рабочими арматурами из 2 Ø 18 АІ.

В процессе реконструкции здания предусматривается переустройство помещений демонтажом перегородки расположенную в осях Е – Д; 11 – 12 (общая длина данной перегородки 5,8 м). Проведенные анализы показали, что данная перегородка являясь самонесущей при демонтаже не окажет отрицательных влияний на устойчивость и сейсмостойкость здания.

Между отсеками здания предусмотрены деформационные швы шириной 150 мм, которые соответствуют требованиям КМК 2.01.02-96. В целом техническое состояние кирпичных стен оценивается как работоспособное.

Перекрытие и покрытие

Перекрытие данного здания на отметке 0,00 монолитное, железобетонное, толщиной 20 см. Главные балки монолитного перекрытия имеют поперечное сечение 35 (h) x 26 см без учета высоты самой конструкций. Они расположены в поперечном направлении. Класс бетона монолитного перекрытия и главной балки В15 (таблица 4.1).

Армирование главной балки осуществлено продольными арматурами из 4 Ø 22 АІ и хомутами Ø 12 АІ с ячейкой не более 20 x 20 см.

Перекрытие первого и второго этажей из деревянных конструкций. Горизонтальные несущие элементы деревянного перекрытия из балок с поперечным сечением 25 x 25 см, с шагом 55 – 60 см, а горизонтальные несущие элементы чердачного перекрытия из досок с поперечным сечением 20 (h) x 8 см.

Для обеспечения безопасности эксплуатаций и сейсмостойкости предусматривается замена деревянных перекрытий на монолитные

железобетонные плиты с использованием бетона на основе напрягающего цемента разработанный в рамках настоящей работы.

Крыша и кровля

Крыша обследуемого здания четырехскатная с чердачным пространством, из деревянных конструкций.

а) Торцевые отсеки состоят из:

- продольных балок и стоек деревянных, круглого сечения диаметром 27 см (стойки) и диаметрам 20 см (балки). Высота деревянных стоек 2,15 м с шагом 5,15 м. По верху железобетонного обвязочного пояса устроен мауэрлат из обрезных досок с поперечным сечением 20 x 8 см;

- стропильных балок – досок с поперечным сечением 18(h) x 6,0АІ. При этом шаг стропильных балок составляет 1,0 м. По верху стропильных балок устроена деревянная обрешетка из брусьев с поперечным сечением 5 x 5 см. Шаг деревянных брусьев 35 – 40 см;

- Кровля – профнастил.

б) центральный отсек состоит из:

- стоек и продольных балок – деревянные, с поперечным сечением 18 x 18 см. Шаг стоек составляет 5,3 м. По верху железобетонного обвязочного пояса устроен мауэрлат из обрезных досок с поперечным сечением 20 x 8 см. Стропильные балки из обрезных досок с поперечным сечением 17(h) x 5 см, с шагом 1,0 м. По верху стропильных балок устроена деревянная обрешетка из брусьев с поперечным сечением 5,5 x 5 см. Шаг деревянных брусьев составляет 30 см. Кровля из профнастила. На момент обследования следы протечек не установлены. Крыша и кровля обследованного здания находятся в работоспособном состоянии.

4.1.3. Инструментальные исследования. Определение прочности строительных материалов и конструкций.

Для определения фактической прочности строительных материалов и конструкций (прочность бетона, кирпича и цементно – песчаного раствора) использовали измеритель прочности ударно – импульсный прибор ОНИКС – 2,53. Данный прибор предназначен для измерения прочности бетонов и других композиционных материалов методом ударного импульса по ГОСТ 22690 – 88 и РСТ Уз 872 – 98 по неразрушающему методу. Прибор имеет двухпараметрический метод определения прочности (удар + отскок) в диапазоне и изменения прочности 3 – 30 МПа и 10 – 100 МПа с пределом допускаемой основной относительной погрешностью измерения не более $\pm 8\%$.

Принцип работы прибора основан на корреляционной зависимости параметров ударного импульса от упруго – пластических свойств контролируемого материала. Прибор состоит из склерометра и электронного блока – преобразователя.

Для выполнения измерений прочности строительных материалов и конструкций идентором склерометра наносили удар по измеряемой поверхности. При ударе преобразователь вырабатывает сигнал, пропорциональный поверхностной твердости объекта измерений, который регистрируется электронным блоком и преобразуется в прочность материала. Измерения производятся автоматически при выполнении датчиков ударных воздействий и на дисплее появляются результаты единичных измерений и итоговые данные: R – измеренное значения прочности; V – коэффициент вариации; W – размах. За единичное значение прочности бетона и других строительных материалов принимали среднюю прочность на участке конструкции, определяемое как среднее значение 10 измерений.

Определение прочности на сцепление проводилось путем испытания на осевое растяжение элементов кладки стен, отобранных в построечных условиях. Для проведения контрольных испытаний на сцепление кладки отбирались образцы кирпича из доступных участков стен. При испытании

кладки на сцепление определялась прочность раствора на сжатие из шва кладки по приведенной выше методике. Испытание кладки на сцепление проводилось по схеме указанной в ГОСТ 24992 – 81 «Конструкции каменные. Метод определения прочности сцепления в каменной кладке». Результаты испытаний приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.1.

**Результаты испытаний по определению прочности бетона
железобетонных конструкций**

№ п/п	Наименование конструкций	Данные испытаний			
		R, МПа	V, %	W,%	Класс бетона
1	Колонны монолитные, железобетонные	21,4	22,3	23,4	В 15
2		21,4	15,5	36,0	В 15
3		22,6	10,8	21,6	В 15
4		25,1	19,9	35,4	В 15
5		22,4	19,8	39,6	В 15
1	Ригели монолитные, железобетонные	25,1	19,9	35,4	В 15
2		24,5	18,9	39,0	В 15
3		24,1	12,0	31,8	В 15
4		23,5	18,6	32,2	В 15
5		23,8	19,1	33,8	В 15
1	Обвязочные пояса железобетонные	15,2	18,3	41,6	В 10
2		14,9	21,1	51,0	В 10
3		14,5	11,4	30,2	В 10
4		11,0	11,2	29,0	В 10
5		13,6	17,3	49,4	В 10
1	Железобетонный антисейсмический пояс	21,4	22,3	23,4	В 15
2		21,4	15,5	36,0	В 15
3		22,6	10,8	21,6	В 15
4		25,1	19,9	35,4	В 15
5		22,4	19,8	39,6	В 15
1	Ленточные фундаменты	22,2	19,8	47,0	В 15
2		23,1	15,5	36,0	В 15
3		20,3	11,0	34,2	В 15
1	Железобетонные перемычки	23,9	10,0	29,3	В 15
2		24,0	11,2	27,5	В 15
3		26,1	10,9	29,0	В 15
4		23,4	11,0	28,2	В 15

5		22,9	18,2	29,0	В 15
1	Главная балка монолитного железобетонного перекрытия	20,7	19,5	33,0	В 15
2		22,6	18,6	35,2	В 15
3		23,5	16,0	29,7	В 15
4		22,4	20,2	30,1	В 15
5		21,9	19,0	29,2	В 15
1	Железобетонные сердечники	14,8	22,2	38,1	В 10
2		15,1	19,9	42,1	В 10
3		13,9	18,3	29,2	В 10
4		15,9	17,8	31,1	В 10
5		14,7	20,0	40,0	В 10

Примечание:

V – коэффициент вариации;

W – размах между максимальными и минимальными результатами измерений.

Таблица 4.2.

**Результаты испытаний по определению прочности бетона
железобетонных конструкций**

№ п/п	Наименование конструкций	Данные испытаний			
		R, МПа	V, %	W,%	Марка
1	Кирпич полнотелый жженный	9,2	23,4	52,3	М 75
2		7,5	15,5	40,0	М 75
3		8,4	21,7	46,0	М 75
4		9,3	19,5	10,0	М 75
5		8,8	17,7	31,8	М 75
6		9,1	8,5	24,0	М 75
1	Цементно – песчаный раствор	5,6	16,6	43,4	М 50
2		6,4	14,7	48,6	М 50
3		7,9	14,8	38,4	М 50
4		5,0	14,6	46,2	М 50
5		8,1	13,2	45,5	М 50
6		5,9	13,9	46,0	М 50

Примечание:

V – коэффициент вариации;

W – размах между максимальными и минимальными результатами измерений.

Таблица 4.3.

**Результаты испытаний по определению прочности сцепления
раствора с кирпичом**

Здание и этаж	Отрывающая нагрузка, кг	Прочность сцепления, R_t^s , кг/см ²		Характер отрыва	
	Площадь, см ²	Частное	Среднее	По раствору	По контакту
3 ^{-х} этажное, кирпичное здание	392/182	2,15	2,05	-	+
	395/202	1,95		-	+
	368/184	2,00		-	+
	385/188	2,05		-	+
	385/183	2,10		-	+

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Вопросы разработки эффективного материала, расширяющихся и напрягающих центров на основе местных сырьевых ресурсов и применения их в объектах реконструируемых зданий и сооружений является актуальным.
2. Результаты исследований настоящих работ, а также сотрудников геологии и геофизики АН РУз, позволили сделать вывод о том, что из трех изученных месторождений алунита наиболее приемлемым для возможной добычи и переработки алунитов является месторождение Гушсай.
3. Большое значение имеет изучение физико-химических процессов, происходящих при твердении РЦ, и главным образом, исследование характера и кинетики кристаллизации новых фаз, образующихся при гидратации компонентов расширяющихся добавок.
4. Результаты проведенных исследований показали, что значительными резервами улучшения структуры, повышения прочности и других физико-механических свойств цементных бетонов является:
 - а) устранение или предельное уменьшение усадочных явлений в микроструктуре и макроструктуре бетона;
 - б) максимальное исключение условий возникновения концентрации напряжений в структурных элементах бетона за счет значительного снижения объема несплошностей в виде трещин, пор и пустот;
 - в) повышения однородности (плотности) и предельной растяжимости его растворной составляющей (цементного камня);
 - г) вовлечение крупного заполнителя в работу бетонов.
5. Как показали результаты настоящих исследований, режимы и условия твердения оказывают существенное влияние на имеющиеся процессы в таких цементах и практически мало отличаются от установленных для НЦ на основе глиноземистого цемента или шлака.
6. Как следует из представленных данных, применения напрягающего бетона привело к снижению сметной стоимости на 27%, а эксплуатационных расходов, за счет увеличения срока службы – почти в 10 раз. Причем, если

учесть, что во всех объектах использовался достаточно дорогой НЦ на глиноземистых цементах или шлака, то применения АНЦ на местных материалах является дополнительным существенным резервом снижения стоимости строительства и повышения технико-экономических показателей самонапряженных сборных и монолитных конструкций.

В целом, особые физико-механические свойства и высокая эффективность использования напрягающих бетонов в различных строительства указывают на перспективность и насыщенную необходимость организации производства расширяющих цементов у нас в Республике. Для этого имеется достаточная сырьевая и производственная база.

7. Выполненные работы по замене деревянных перекрытий на керамзитобетон на основе алунитового напрягающего цемента соответствуют требованиям и поверочные расчеты показали обеспеченность здания эксплуатационной надежностью и сейсмостойкостью, здания вполне пригодно для дальнейшей эксплуатации при условии сохранения напряженного состояния и соблюдении соответствующих требований по эксплуатации и техническому обслуживанию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему совершенствованию архитектуры и строительства в Республике Узбекистан» от 26 апреля 2000 года, «Правда Востока» 27.04.00, № 23.
2. Указ Президента Республики Узбекистан «Об основных направлениях дальнейшего углубления экономических реформ в капитальном строительстве», «Народное слово» 08.05.09, № 100.
3. Колотилкин Б.М. Надежность функционирования жилых зданий. – М.: Стройиздат, 1982 – 376 с.
4. Авиром Л.С. Надежность конструкций сборных зданий и сооружений. Л.: Стройиздат, Ленинград. Отделения, 1971 – 216 с.
5. Ройтман А.Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий. – М.: Стройиздат, 1985, 175 с
6. Шрейбер К.А. Вариантное проектирование при реконструкции жилых зданий. – М.: Стройиздат, 1991.
7. Ройтман А.Г., Смоленская Н.Г. Ремонт и реконструкция жилых и общественных зданий. – М.: Стройиздат, 1988, 319 с.
8. Углубление экономических реформ в строительном комплексе Узбекистана. Ташкент, 2006 г.
9. Руководство по обследованию и оценке технического состояния железобетонных конструкций зданий и сооружений. Ташкент. 2004 г.
10. Рекомендации по расчету железобетонных конструкций на воздействие климатической температуры и влажности. Ташкент, 1994 г.
11. Мукумов Т. Основы расчета долговечности железобетонных пролетных строений мостов. Ташкент: Фан, 1995. 128 с.
12. Мамажанов Р.К. Вероятностное прогнозирование ресурса железобетонных пролетных строений мостов. – Ташкент: Фан, 1993.152 с.

13. Ржевский В.А. Сейсмостойкость зданий в условиях сильных землетрясений. Ташкент: Фан, 1990. 260 стр.
14. Касымова С.Т. и др. Ремонт и реконструкция жилых и общественных зданий: Учебное пособие. Ташкент, 2002 г.
15. Гучкин И.С. Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций: Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2001 – 176 с.
16. Абрашитов В.С. Техническая эксплуатация и обследование строительных конструкций: Учебное пособие. – М.: ИАСВ, 2002 г.
17. КМК 2.01.15-97. Положения по техническому обследованию жилых зданий. / Госкомархитектстрой РУз – Ташкент, 1998.
18. КМК 2.01.16-97. Правила оценки физического износа жилых зданий. / Госкомархитектстрой РУз – Ташкент, 1997.
19. КМК 1.04.03-97. Положения о проведении и совершенствовании технического обслуживания и реконструкции жилых зданий и зданий социально-коммунального и культурного назначения. Госкомархитектстрой – Ташкент, 1998.
20. Горчаков Г.И., Орендлихер Л.П., Савин В.И. и др. Состав, структура и свойства цементных бетонов. - М.: Стройиздат, 1976. - 145 с.
21. Десов А.Е. Некоторые вопросы структуры, прочности и деформаций бетона // Структура, прочность и деформации бетона. - М.: Стройиздат, 1966.
22. Москвин В.М., Осетинский Ю.В., Подвальный А.М. Об определении структурных напряжений в бетоне при усадке и температурных воздействиях //Строительная механика и расчет сооружений. - 1974. - № 5. - С. 18-21.
23. Федоров А.Е. Физико-химические основы процессов развития напряжений и деформаций в цементном камне и их влияние на структуру, свойства и долговечность бетона: Автореф. дис... доктора техн. наук. М.: НИИЖБ, 1984.

24. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. - 344 с.
25. Hsu T. Mathematical analysis of shrinkage stresses in a model of hardened concrete // Journal of the American Concrete Institute. - 1963. - March.
26. Десов А.Е., Красильников К.Г., Цилюсани З.Н. Некоторые вопросы теории усадки бетона. – В кн.: Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. – М., 1976.
27. Шейкин А.Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня М.: Стройиздат, 1974.
28. Александровский С.В. Расчёт бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия (с учетом ползучести). - М.: Стройиздат, 1966.
29. Бернал Дж.Д. Структура продуктов гидратации цемента // Третий международный конгресс по химии цемента. – М., 1960.
30. Гуменюк Н.Т., Курасова Г.П., Житкевич Р.К., Истомина А.С. Влияние структурных напряжений, возникающих в бетоне, на его водонепроницаемость до и после циклического замораживания // Труды НИИЖБ Госстроя СССР. - 1975. - Вып. 19.- С. 72-84.
31. Михайлов В.В. Предварительно-напряженные железобетонные конструкции. (Теория, расчет и подбор сечений). - М.: Стройиздат, 1978. - 389 с.
32. Цилюсани З.Н. Усадка и ползучесть бетона. – Тбилиси, 1979.
33. Шпынова Л.Г., Синенькая В.Н., Никонец И.И. и др. Формирование и генезис микроструктуры цементного камня. – Львов: Вища школа, 1975–1976. - 157с.
34. Hansen W.S. // Cement and Concrete Research. – 1973. – Vol.3. - № 5.
35. Leviant I. Einfluss der Betonzusammensetzung auf das Schwinden // BetonsteinZeitung. - 1964. - Jg. 30. - Н. 4.
36. Powers T.S. // Materials and structures. – 1968. – № 6.

37. Voellmy A. Influence du temps sur la deformation du beton // RILEM Bulletin. - 1960. - № 9.
38. Материалы I Всесоюзного совещания по проблеме: Технология бетонных работ в условиях сухого жаркого климата (окт. 1970 г.). - Ташкент. - 1974.
39. Материалы II Всесоюзного координационного совещания по проблеме: Технология бетонных работ в условиях сухого жаркого климата (4-7 июня 1974 г., Ашхабад). - Киев: Киевская книжная типография. - 1976. - 320 с.
40. Глекель Ф.Л., Ларионова Т.С. Расширяющийся цемент на основе портландцемента и алуниита //Труды Всесоюзного совещания по химии и технологии цемента. – М.: Стройиздат, 1965. – 305 с.
41. Михайлов В.В. Самонапряженный железобетон // Научное сообщение ЦНПИС к Международному конгрессу в Амстердаме. - М., 1955.
42. Михайлов В.В., Литвер С.Л. Расширяющийся и напрягающий цементы и самонапряжённые железобетонные конструкции. - М.: Стройиздат, 1974.
43. Мчелдов-Петросян О.Н., Филатов Л.Г. Расширяющиеся составы на основе портландцемента. - М.: Стройиздат, 1965.
44. Klein A., Troxell G.E. Proceedings of АСТМ. - 1958. - v. 58.
45. Lin T.V., Klein A. Chemical prestressing of concrete elements using expanding cements // Journal of the American Concrete Institute, Proceedings. - 1963. - Sept. Vol, 60. - P. 1187-1218.
46. Mather B. Cement and concrete research. - 1973. Vol. 3. - No 5.
47. Tanaka T., Watanabe V. Laboratory Preparation of Expansive Cements // Semento Gijutsu Nempo.- Tokyo Japan.- 1955.- v. 9.- P. 103-117.
48. Будников П.П., Кравченко И.В. Химия и свойства глиноземистого и расширяющегося цементов // Новое в химии и технологии цементов. - М. - 1962.

49. Красильников К.Г., Никитина Л.В., Скоблинская Н.Н. Физико-химия процессов расширения цементов. – В кн.: VI Международный конгресс по химии цемента. – М., 1976. – том III.
50. Сиверцев Г.Н., Лапшина А.И., Никитина Л.В. О природе напрягающего цемента // Совершенствование методов исследования цементного камня и бетона. - М. - 1968.
51. Chassevent V., Stiglitz P. Comptes rendus. - 1946. - v.222. - № 26.
52. Lossier H. Les ciments expansifs et leur applications // Le Genie Civil.- 1944. - № 8.
53. Lafuma H. Theorie de l'expansive des liants hydrauliques. Rev. materiaux constr. 243-244, 1929. Expansive cements. / The Third Int.Symp.Chem.Cements. - London. - 1952.
54. Красильников К.Г., Никитина Л.В., Скоблинская Н.Н. Физико-химия собственных деформаций цементного камня . - М.: Стройиздат, 1980. - 256 с.
55. Никитина Л.В., Лапшина А.И., Красильников К.Г. Зависимость между условиями кристаллизации этtringита и развитием деформаций расширения при твердении сульфатсодержащих цементов // Труды НИИЖБ. - М.-1972.- Вып. 7. Физико-химические исследования цементного камня и бетона.
56. Jones F. Proc. Symp. Chem. Cements, Stockholm, 1938.
57. Forsen L. Proc. Symp. Chem. Cements, Stockholm, 1938.
58. Образование гидросульфоалюмината кальция при гидратации напрягающего цемента / И.В.Кравченко, Т.В.Кузнецова, В.П.Рязин, Г.В.Черепкова // Цемент. – 1975. - № 6.
59. Chatterji S., Jefferi I.W. Mag.Concr. Res. 44, 83, 1963 // Amer. Ceram. Soc. 46, 268, 1963.
60. Lehmann H., Miels A. Tonindustrie // Zeitung. - 1963. - № 4.

61. Сегалова Е.Е., Амелина Е.А., Ребиндер П.А. Роль величины пересыщения в формировании кристаллизационных структур твердения // Коллоидный журнал. – 1963. – Том 25. - № 2.
62. Taylor H.F.W., Famy C., Serivener K.L. Замедленное образование этtringита // Cement and Concrete Research. – 2001. – V.31. - №9. – P.1367-1372.
63. Zweite internationale Konferenz über die Chemie und Technologie des Zements // International Cement – Lime – Gypsum. №2. – 2001. - S. A.25 – A.26.
64. А.с. 87303 (СССР). Способ получения расширяющегося цемента / П.П.Будников, Б.Г.Скрамтаев. - Оpubл. 1950, Б.И. № 11.
65. А.с. 371185 (СССР) Напрягающий цемент/Кутателадзе К.С., Габададзе Т.Г., Нергадзе Н.Г. – Оpubл. 1973, Б.И. №12.
66. Ниши Т., Харад Т., Кох Ч. Общие свойства строительного раствора и бетона, приготовленных из расширяющегося цемента на основе клинкера из сульфоалюмината кальция / Пятый Международный конгресс по химии цемента. - М.: Стройиздат, 1973.
67. Lossier H. Non-shrinking cements // Revue Universal – le des Mines: Liege, Belgium. – 1937. - V.13. – P. 166-169.
68. Lossier H., Cagnot A. Expanding cements and their application self-stressed concrete // Le Genie Civil (Paris). –1944. – April 15. – v. 121. – No 8. – P.61-65 and 1944. – May 1. – No 9. – P. 69-71.
69. Минерально-сырьевые ресурсы Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1976. – 260 с.
70. Кравченко И.В., Соломатина Ю.Ф. Получение цемента, быстро затвердевающего при пропаривании. – М.: Промстройиздат. – 1954.
71. Скрамтаев Б.Г., Кравченко И.В. Гипсоглинозёмистый расширяющийся цемент // Строительные материалы. – 1956. - № 3.

72. А.с. 107996 Способ получения трёхкомпонентного расширяющегося цемента / Михайлов В.В., Литвер С.Л., Попов А.Н.-Опубл.1957, Б.И. № 9.
73. Михайлов В.В., Литвер С.Л. Технология напрягающего цемента и самонапряжённых бетонных конструкций. - М.: Стройиздат, 1975. – 183с.
74. А.с. СССР 253641 и СОЧ 67/56 Способ получения напрягающего цемента / Михайлов В.В., Литвер С.Л., Попов А.Н., Попова В.А. - Опубл. 1972.
75. Ish-Shalon M., Bentur A. Properties of type "K" expansive cement of pure components // Cement and concrete research. - 1974. Vol. 4.; 1975. Vol. 5.
76. Klein A.«Expansive Cements» V.S.Patent No.3, 155,526. No.3 (1964). - P.4.
77. Кутателадзе К.С., Габададзе Т.К., Нергадзе Н.Г. Алунитовые безусадочные расширяющиеся и напрягающие цементы (АБЦ, АРЦ, АНЦ). – В кн.: VI Международный конгресс по химии цемента. – М., 1976. – том III.
78. Klein A., Harby T., Polivka M. // Journal of American Concrete Institute. - 1961.- v. 58. - № 1.
79. Klein A., Troxell G.E. Studies of calcium sulfoaluminate admixture for expansive cements. Proceedings of АСТМ. - 1958. - v. 58.
80. Tanaka T., Watanabe V. Expansive cement // Japanese Patent N 7843 (1956).- Sept.8. - 1956.
81. Златанов В., Джаббаров Н. Самонапряжённый железобетон с расширяющейся добавкой // Бетон и железобетон. - 1960. - № 8.
82. Глекель Ф.Л. Цементы на основе портландцемента и алунитов. – Ташкент: Фан, 1969. – 79 с.
83. Диамант М.И., Мартиросов Г.М., Фазылов У.Ф., Федьнин Н.И., Звездов А.И., Ходжаев С.А. Элементы безрулонной кровли из напрягающего бетона // Бетон и железобетон. - 1981. - № 6. - С. 18-19.

84. Искандарова М.И., Атакузиев Т.А. и др. Эффективность производства и применения сульфатосодержащего высокопрочного расширяющегося портландцемента // Деп. рук. УзНИИНТИ, №95. Уз-Д83.1983. – 7 с.
85. Исламов Д.Ш. Бетон на напрягающем цементе в условиях сухого и жаркого климата и его применение в конструкциях безрулонных крыш: Автореф. дисс... канд. техн. наук. - Ташкент, 1981.
86. Михайлов В.В., Ходжаев С.А. Водонепроницаемый самоупругий керамзитобетон // Бетон и железобетон. - 1979. - № 5. - С. 16-18.
87. Сабаева Н. Исследование бетонов на напрягающем цементе в условиях упругого ограничения деформаций расширения: Автореф.дис....канд. техн. наук. М.- 1974. - 20 с.
88. Фазылов У.Ф., Мартиросов Г.М., Ходжаев С.А. Напрягающие бетоны для безрулонных крыш жилых зданий // Архитектура и строительство Узбекистана. – 1983. - № 3. – С. 30-32.
89. Ходжаев С.А. Конструктивно-технологические особенности монолитного самоупругого железобетона // Маскан. - 1993. - № 5-6. непроницаемых бетонов //Бетон и железобетон. - 2000. - № 4.
90. Ходжаев С.А. Особенности формирования структуры и технологии водотонов в сборных и монолитных конструкциях // Бетон и железобетон. - 2001. -
91. Ходжаев С.А., Юсупов Р.Р., Исламов Д.Ш., Абдуллаев М.Н., Мартиросов Г.М. Опыт и перспективы применения самоупругого железобетона в IV климатическом районе // Ресурсосберегающие технологии железобетонных конструкций на основе напрягающих цементов. – М.: Стройиздат, 1984. – С. 35-38.
92. Kalouseck C.L. Analysing SO₃ - Bearing phases in hydrating cement materials research. - 1965. - v.5. - № 6. - P. 296-394.
93. 68. Михайлов В.В., Бейлина М.И., Сидоренко И.Л., Заалишвили Г.Г. Перспективы применения алунитового напрягающего цемента (СНЦ) // Бетон и железобетон. – 1986. - № 10.

94. Загурский В.А. Влияние технологических факторов на интенсификацию процессов самоупрочения и повышение физико-механических свойств бетонов на напрягающем цементе: Автореф. дис... канд.техн. наук. -1978.-21 с.
95. Звездов А.И. Железобетонные конструкции из бетона на расширяющихся цементах: Автореф. дисс... докт. техн. наук. - М. - 1997. – 47 с.
96. Тур В.В. Самоупрочение сборно-монолитных конструкций с монолитной частью из напрягающего бетона // Бетон и железобетон. – 2001. - № 4. – С.6-11.
97. Ходжаев С.А. Структура, технология и свойства бетона для кровельных покрытий: Дисс... докт. техн. наук. - Т., 2001. - 341с.
98. Предварительно напряжённый и самоупрочённый железобетон в США. – М.: Стройиздат, 1974. – 320 с. Авт.: С.В.Александровский, П.Ф.Бакума, В.В.Михайлов, Н.А.Маркаров.
99. Абдуллаев М.И., Ходжаев С.А. Напрягающий бетон для устройства полов промышленных зданий // Архитектура и строительство Узбекистана. – 1986. - №10. – С. 33-36.
100. Деллос К.П., Круглов Е.З. Напрягающий бетон в конструкциях мостов и аэропортов // Бетон и железобетон. - 1979. - № 5. - С. 14-15.
101. Звездов А.И., Титов М.Ю. Бетон с компенсированной усадкой для возведения трещиностойких конструкций большой протяжённости // Бетон и железобетон. – 2001. - №4. – С. 17-20.
102. Исаев Н.С., Титов Ю.Н., Черноиваненко В.А. Применение напрягающего цемента для строительства опытных участков аэродромов // Бетон и железобетон. – 1976. - № 5. – С. 8-9.
103. Кардумян Г.С., Тур В.В. Применение материалов на основе напрягающего цемента в новом строительстве и при реконструкции в Республике Беларусь // Бетон и железобетон. – 2001. – № 4. – С. 34-36.

104. Мартиросов Г.М., Шахворостов А.И. Трубобетонные элементы из бетона на напрягающем цементе // Бетон и железобетон. - 1979. - № 5. - С. 12-13.
105. Ходжаев С.А. Особенности физико-механических свойств напрягающих бетонов в сборных и монолитных конструкциях // Бетон и железобетон. - 2001. - № 4. – С. 20-23.
106. Ходжаев С.А., Мусурманкулов А. Высокопрочный напрягающий бетон – материал нового поколения // Архитектура и строительство Узбекистана. – 2006. - № 2. – С.36-39.
107. Krol M., Tur W. Beton ekspansyvny. – Warszawa: Arkady, 1999. – 276 s.
108. Десов А.Е. Некоторые вопросы структуры, прочности и деформаций бетона // Структура, прочность и деформации бетона. - М.: Стройиздат, 1966.
109. Мусурманкулов А. Прочностные и деформационные свойства бетонов на сульфферритном напрягающем цементе // Бетон и железобетон. – 2001. - № 4. – С.37-38.
110. Фазылов У.Ф., Исламов Д.Ш. Напрягающий бетон для плит безрулонных крыш//Строительство и архитектура Узбекистана. - 1979. - № 9. - С.32-34.
111. Ходжаев С.А., Литвер С.Л., Никитина Л.Е., Мусурманкулов А. Структура и физико-механические свойства бетонов на основе сульфферритного напрягающего цемента // Ресурсосберегающие технологии железобетонных конструкций на основе напрягающего цемента. - М.: Стройиздат, 1989. - С.10-13.
112. Юсупов Р.Р. Учет особенностей длительных деформаций напрягающего бетона в расчетах самонапряженных железобетонных конструкций: Дис.... канд. техн. наук. - М.- 1981.- 181 с.
113. Михайлов В.В., Попова В.А., Бейлина М.И. Шлаконапрягающие и шлако-алунитонапрягающие цементы и бетоны на их основе // Бетон и железобетон. - 1987. - №2. - С.13.

114. Глекель Ф.Л. Физико-химические основы применения добавок к минеральным вяжущим. – Ташкент: Фан, 1975.
115. Физико-химические основы использования алунигов. – Ташкент: Фан, 1981. – 191 с. Авт.: К.С.Ахмедов, Ф.Л.Глекель и др.
116. А.с. 676576 (СССР). Напрягающий цемент / Атакузиев Т.А., Мамажанов Р.К., Мирмуминов М.М., Юсупов Р.Р. – Оpubл. 1979, Б.И. № 28.
117. Атакузиев Т.А., Искандарова М.И., Талипов Н.Х. и др. Тепло- и энергосберегающие факторы в производстве сульфощементов из различных отходов // Проблемы эффективного использования энергоресурсов в промышленности. – Миасс, 1985. – С.114-115.
118. Атакузиев Т.А., Таджиева Д.Ф. Новые виды цементов на основе сульфощлинькеров. – Т.: Мехнат, 1989. – 116 с.
119. Искандарова М.И. Новые виды специальных цементов сульфатно-сульфощлюминатного твердения с использованием фосфощгипса и других техногенных продуктов: Автореф. дис...докт. техн. наук. – Ташкент. – 1994.
120. Искандарова М.И., Атакузиев Т.А., Бутаев Э.М. и др. Высокопрочный расширяющийся цемент // Докл. АН УзССР. – 1983. - № 12. – С.28.
121. А.с. 90135 (СССР) Способ приготовления расширяющегося цемента / Гегеле И.М., Гумановили В.А. – Оpubл. 1951, Б.И. № 4.
122. Кутателадзе К.С., Габададзе Т.К. Алуниговые цементы // Материалы V Всесоюзн. НТС по химии и технологии цемента. – М., 1980. – С. 231-234.
123. КМК 2.01.03-96 «Строительство в сейсмических районах». Нормы проектирования. Госкомархитектстрой РУз. Ташкент, 1996 г.
124. Назарбекское землетрясение 11 декабря 1980 г. Ташкент: Фан, 1984 г., 144 с.
125. Ржевский В.А., Аванесов Г.А. Параметры предельных состояний железобетонных элементов и рамных каркасов // Бетон и железобетон. 1979, № 6, с.17-18.

126. Зубков Д.А., Голованов Р.О. Мониторинг состояния каркасного здания на основе изменения его динамических параметров. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2003, № 4.
127. Ашимбаев М.У., Ицков И.Е. Натурные динамические испытания здания с безригельным каркасом и диафрагмами жесткости // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2004, № 5
128. Лабутин Г.В.Алуниты. – М.: Металлургия, 1965.
129. Scott T.R. // Journal of metals. – 1962. – Vol. 14. - № 2.
130. Кашкай М.А. // Известия АН СССР. Сер.: Геология. – 1961. - №7. – С.72.
131. Минерально-сырьевые ресурсы Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1976. – 260 с.
132. НТО за 1997-1999 г.г. по теме: «Литолого-минералогические основы технологии оценки, переработки бентонита, галита, бишофита, алунита и мумиё в месторождениях и проявлениях Узбекистана для их практического использования» (Заключительный) / Институт геологии и геофизики им.Х.М.Абдуллаева АН РУз. – Ташкент: 1999. - 211 с.
133. НТО Института минерального сырья и ресурсов Министерства геологии РУз: Раздел 2.1. Калиеносные вулканические породы. – Ташкент: 2005.
134. Розенберг Т.И., Кучеряева Ф.М., Рубинина Н.М. Методика определения содержания гидросульфалюмината кальция при гидратации цементов и гипсо-цементнопуццолановых вяжущих. – Труды/ВНИИжелезобетон, М., 1964, вып.9.
135. Производство сборных самонапряжённых железобетонных конструкций и изделий. Справочное пособие к СНиП 3.09.01-85. – М.: Стройиздат, 1990. – 18 с.
136. Тимошенко С.Т. Теория упругости. - Л.- М., 1937.- 451 с.
137. Ходжаев С.А., Юсупов Р.Р., Шаджалилов Ш. и др. Прочность и деформации напрягающего керамзитобетона //Бетон и железобетон. - 1982.- № 9.-С.31-32.

138. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения.- М.: Стройиздат, 1982. – 195 с.
139. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. СН 509-78. - М.: Стройиздат, 1979.
140. Инструкция по определению эксплуатационных затрат при оценке проектных решений жилых и общественных зданий. СН 547-82.- М.: Стройиздат,1983.
141. Ходжаев С.А., Юсупов Р.Р. Напрягающий керамзитобетон для конструкций жилых домов в сейсмических районах //Опыт и перспективы применения бетонов на напрягающем цементе в строительстве /Материалы семинара. - М.: Центральный Российский Дом знаний, 1992. - С. - 55-58.
142. www.tn.ru
143. www.i-line.ru
144. www.maxit.ru
145. www.weckmansteel-oy.ru
146. www.gosstroy.gov.kg