

Государственное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
Московский государственный строительный университет
Ассоциация московских вузов

Утверждаю
Проректор по УМР и МД

_____ Гагин В.И.
« ___ » _____ 2009 г.

ОТЧЕТ

о выполнении подраздела мероприятий по социальному
обслуживанию населения в части предоставления
образовательных услуг жителям города Москвы

Подраздел №11.5.2.1. *«Современные технологии
оптимизации инновационной инфраструктуры в сфере
строительного образования и научно-технических услуг»*
(научно-образовательный материал)

Научный руководитель подраздела	Зав.каф. ТСП, профессор <small>Должность</small>	Телефон	Подпись Дата	Король Е.А. <small>ФИО</small>
Заместитель научного руководителя подраздела	Ст. Преподаватель Каф.ТСП <small>Должность</small>	Телефон	Подпись Дата	Пугач Е.М. <small>ФИО</small>

Москва, 2009 г.

Под научным руководством и при непосредственном участии зав.каф. Технологии строительного производства (ТСП), профессора Король Е.А. (отв.исп. ст. преподаватель каф. ТСП Пугач Е.М.) в рамках подраздела 11.5.2.1. были разработаны, коллегиально рассмотрены и протестированы, а также вручены для практического использования заинтересованным специалистам строительного комплекса Москвы научно-образовательные материалы в области современных технологий оптимизации инновационной инфраструктуры в сфере научно-технических услуг и строительного образования на уровне подготовки специалистов высшей квалификации на примере сотрудничества на базе научно-образовательных центров МГСУ ученых Российской академии архитектуры и строительных наук и молодых ученых строительных вузов России.

В России, как и в большинстве стран мира, из всех гражданских отраслей народного хозяйства строительная индустрия является ведущей базовой составляющей национального развития, от состояния которой в существенной степени зависит состояние социального, демографического, промышленного и, в конечном счете, как геополитического потенциала государства, так и благополучия каждой российской семьи.

Строительные технологии и продукция в современном мире являются не только аккумулятором передовых достижений практически всех остальных отраслей науки и народного хозяйства, но и отличаются особенно жесткими требованиями к технико-экономическим и эксплуатационным характеристикам, превосходящим по ряду параметров требования к продукции военно-промышленного комплекса. Так, например, требования по ресурсу эксплуатации объектов гражданского строительства превышают период от 50 до 100 лет, что является беспрецедентным для других отраслей народного хозяйства.

Наряду с этим, строительная отрасль и оборот её продукции в совокупности превышают по своему, только учтенному вкладу более 15% валового внутреннего продукта России, опережая Добычу полезных ископаемых – 8%, Транспорт и связь – 8,2%.

Строительная отрасль и жилищно-коммунальное хозяйство занимают особое положение в энергобалансе России и являются не только основными потребителями (более 45% всей вырабатываемой в РФ тепловой энергии), но и основными источниками более 50% ее безвозвратных потерь.

В связи с этим Президентом Медведевым Д.А. была сформулирована задача энергосбережения на расширенном заседании президиума Государственного совета от 2 июля 2009 года в г. Архангельске и предложение о выдвигании этой проблемы на государственный уровень в качестве важнейших приоритетов государственной научно-технической и экономической политики национального масштаба.

В условиях роста интенсивности природных рисков и существования террористической угрозы при решении задачи энергосбережения при

применении принципиально новых строительных материалов и конструкций последние должны пройти особо ответственные исследования и испытания на устойчивость к повышенным геофизическим и климатическим нагрузкам, характерным для современной эпохи глобальных климатических изменений и роста аварийности в строительной сфере.

В настоящее время, в связи с участвовавшими авариями и ускоренным износом строительных объектов, возведенных по новым технологиям и с применением новых строительных материалов существенно обострилась актуальность фундаментальных проблем строительной науки. Особенность научной формулировки этих проблем связана с отсутствием верифицированных теоретических методов проектного моделирования малоизученных ранее процессов энергосбережения, теплозащиты, разупрочнения и износа материалов и элементов строительных конструкций, отличающихся сложной формой построения и высокой неоднородностью пространственной структуры. Существующие методы математической физики, как правило, сегодня успешно применяются для решения в значительной степени идеализированных задач механики твердого тела и строительной механики, которые по своей постановке существенно отличаются от реальных механизмов работы строительных конструкций. Принципиально новые проблемы по нелинейной механике твердого тела встали в связи с расширением исследований по внедрению нанотехнологий и наномодифицированных строительных материалов в крупнотоннажном производстве. Как правило, такие комплексные научные проблемы фундаментального характера, находящиеся на периферийных стыках совершенно различных научных дисциплин и научных направлений (математика, математическая физика, нелинейная механика твердого тела, строительная механика, нелинейная динамика) успешно и в прогнозируемые сроки могут быть решены при правильной постановке и формировании необходимого задела в части экспериментальных исследований. Только при таком методологическом подходе, основанном на формировании представительного банка экспериментальных данных о ранее малоизученных

закономерностях, свойствах и тонких нелинейных процессах, характерных для описания действительной работы пространственных строительных конструкций, построенных на базе гетерогенных, композиционных и анизотропных материалов, в том числе наномодифицированных, а также упруго-пластических оснований, наполненных в пределах расчетного объема разнородными геологическими элементами сложной формы и структуры.

В связи с этим важнейшей задачей научных школ и ведущих ученых РААСН и строительных вузов является проведение широких экспериментальных исследований для обеспечения эффективного продвижения в развитии фундаментальных методов решения принципиально новых задач строительной науки и технологий.

Научные школы и ведущие ученые РААСН и МГСУ на протяжении ряда последних лет уделяют особое внимание проблемам подобного рода. Сегодня в МГСУ сконцентрирована фактически вся уникальная экспериментальная база для экспериментальной подготовки новой базы знаний для проведения в дальнейшем эффективных теоретических исследований. Центр коллективного пользования университета оснащен самым современным испытательным и материаловедческим научным оборудованием и аппаратурой.

В университете возрождаются уникальные возможности экспериментального метода фотоупругости, который получил свое дальнейшее развитие за счет применения широкополосных и интерференционных методов фотоупругости с нанометрическим разрешением, уникальные эксперименты и натурные исследования проводятся на единственном в СНГ геодинамическом строительном полигоне, оснащенном уникальной испытательной вибромашиной с локальной мощностью до 9,5 баллов по шкале Рихтера. Введены в постоянный режим эксплуатации разработанные в университете программно-инструментальный комплекс «Композит-7», Грависейсмометрическая (СГМ-03В) и Вибродозиметрическая (СВД-60МВ) станции контроля геофизической устойчивости и скорости износа несущих конструкций высотных и

большепролетных зданий, опережающие по своим характеристикам и возможностям достигнутый мировой уровень.

Учитывая принципиально новые возможности модернизированной экспериментальной базы, МГСУ принял успешное участие в конкурсе федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» по мероприятию 1.4, направленному на проведение исследований приглашенными исследователями из других строительных вузов России. Результаты теоретических и экспериментальных исследований в рамках конкурсного проекта должны способствовать повышению уровня квалификации приглашенных молодых ученых и преподавателей из других заинтересованных строительных вузов России при выполнении ими научно-исследовательских работ в научно-образовательных центрах и под руководством ведущих ученых РААСН и строительных вузов России. В реализации научных задач проекта на передовом мировом уровне приняли участие академики, член-корреспонденты и советники РААСН Баженов Ю.М., Травуш В.И., Чернышев Е.М., Колчунов В. И., Теличенко В.И., Король Е.А., Акимов П.А., Морозов В.И., Бальзанников М.И., Леденев В.И., Королев Е.В. и другие ведущие ученые в области строительных наук и строительного образования.

Исследования, выполненные в рамках реализации этого проекта, были направлены на решение актуальных, значимых проблем и получение новых результатов в области энергосбережения и энергоэффективности, а также антитеррористической и геофизической устойчивости новых строительных материалов и конструкций с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Среди работ выполненных приглашенными исследователями можно отметить успешные результаты исследований оптимальных технологических параметров получения наномодифицированного мелкозернистого бетона, полученных аспирантом Брянской инженерно-технологической академии Матвеевой Е.Г.

Целью работы являлось изучение основных принципов модифицирования структуры мелкозернистого бетона с помощью разработанной добавки, содержащей наноразмерный кремнезем.

В рамках этой работы были исследованы различные способы модификации строительных композитов наночастицами, в числе которых цеолитные и глиноземистые гели и золи, нанопорошки, фуллереновые частицы – углеродные нанотрубки и частицы природного фуллерена шунгита, характеризующегося наличием глобулярной матрицы. Особое внимание было уделено модификации структуры мелкозернистого бетона наночастицами кремнезема и их влиянию на свойства мелкозернистого бетона.

Рассмотрен процесс синтеза золя кремниевой кислоты, химическая формула мицеллы золя, стабилизированного ацетат-анионами. Приведены химические реакции, описывающие процессы взаимодействия побочного продукта получения золя кремниевой кислоты – ацетата натрия с основными клинкерными минералами цемента и гидроксидом кальция, образующимся при затворении цемента. Установлено, что эти процессы приводят к образованию смешанных полимерных труднорастворимых солей – гидроацетоалюминатов кальция, коагулирующих поры цементного камня и композита в целом. Это подтверждается анализом пористости образцов, проведенным ранее в Центре коллективного пользования научным оборудованием в БелГУ. Наблюдалась тенденция снижения объемной доли макропор в модифицированных образцах, а также увеличение гелевых пор размером от 1 до 4 мкм в 2,2-3,1 раза по сравнению с контрольными образцами.

Проведенный рентгенофазовый анализ продемонстрировал наличие гидросиликатов кальция в образцах с модифицирующей добавкой. Наблюдалось снижение интенсивности отражения портландита в модифицированных образцах на 30% и трехкальциевого алюмината на 20%, что объясняется связыванием этих минералов: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ частично в

образующиеся гидросиликаты кальция и гидроацетоалюминаты, и C_3A – в гидроацетоалюминаты кальция.

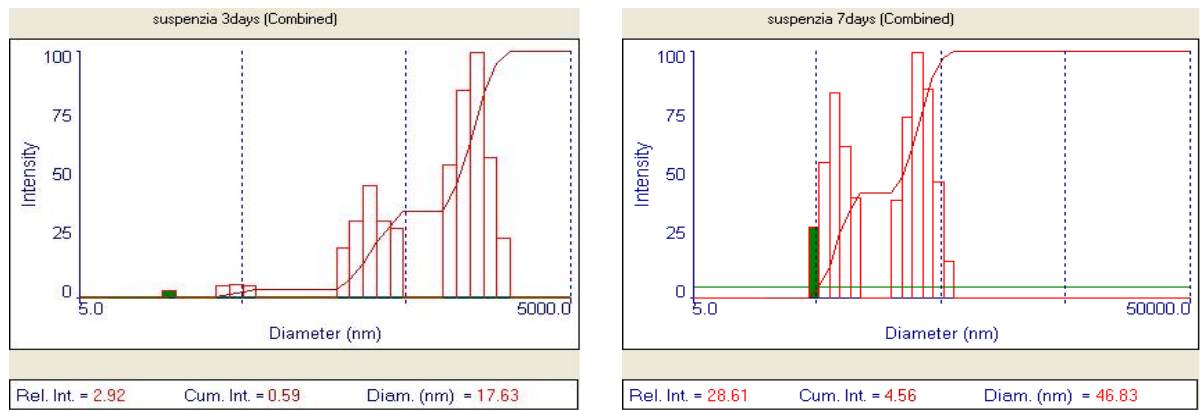


Рис.1. Графики распределения размеров частиц в наномодифицирующей добавки

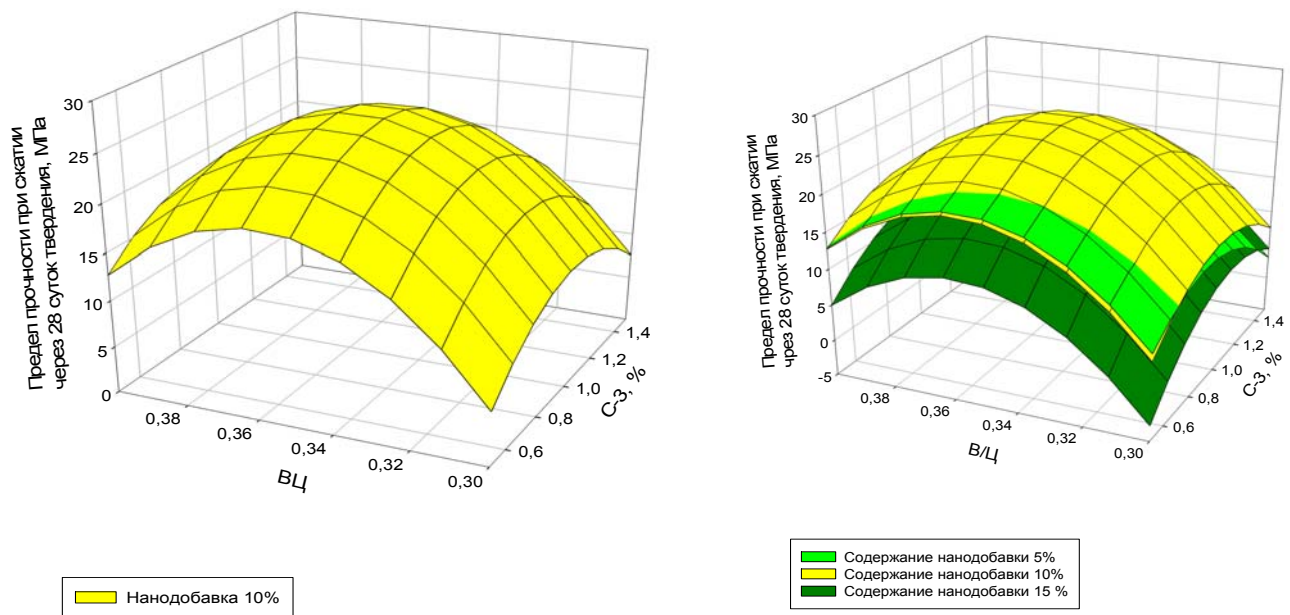


Рис.2. Функции отклика предела сжатия от В/Ц и % добавки

Исследования аспиранта Пензенского государственного университета архитектуры и строительства Киселева Д.Г. позволили изучить закономерности влияния основных рецептурно-технологических факторов на процессы структурообразования, физико-механические и эксплуатационные свойства и получить оптимальные рецептурно-технологические параметры процессов структурообразования серных композитов для защиты от радиации.

В том числе были исследованы закономерности влияния основных рецептурных факторов на технологические и физико-механические свойства

серных мастик. Показано, что увеличение степени наполнения и удельной поверхности наполнителя приводит к снижению подвижности мастик, увеличению их средней плотности и прочности. Зависимости прочности от количества наполнителя имеют экстремальный характер. При этом увеличение удельной поверхности наполнителя приводит к закономерному смещению экстремумов пористости и прочности в область меньших степеней наполнения.

Установлено, что мастики на основе ферроборового шлака незначительно (до 5%) снижают прочность при экспозиции в условиях химически активных сред (вода, растворы кислот и солей) и естественной атмосферы. Стойкость радиационно-защитных серных композитов к попеременному воздействию температуры (морозо- и термостойкость) зависит от их структуры: при формировании мелкокристаллической серные композиты обладают повышенной стойкостью.

Показано, что разработанные радиационно-защитные серные композиты на основе ферроборового шлака по защитным характеристикам от γ -излучения сопоставимы с бетоном на обычных тяжелых заполнителях; коэффициент выведения нейтронов предлагаемых материалов имеет значения примерно в 2-4 раза выше аналогичного показателя для свинца и железа.

С применением обобщенного критерия качества, учитывающего интегральные свойства материалов (среднюю плотностью, предел прочности при изгибе и сжатии), в результате исследований была проведена многокритериальная оптимизация физико-механических свойств радиационно-защитные серные композиты на основе ферроборового шлака, в том числе получены: предельное напряжение сдвига – 312,7 Па; предел прочности при изгибе – 12,7 МПа; предел прочности при сжатии – 36,7 МПа; средняя плотность – 2292,2 кг/м³. что соответствует рассчитанным интегральным параметрам по коэффициенту трещиностойкости $k_{тр} = 0,346$ и коэффициенту конструктивного качества $k = 16,01$ МПа. Также было определено влияние основных рецептурных факторов на среднюю плотность,

пористость и прочность радиационно-защитного серного бетона на ферроборовом шлаке. Показано, что на физико-механические свойства преобладающее влияние оказывает содержание серной мастики.

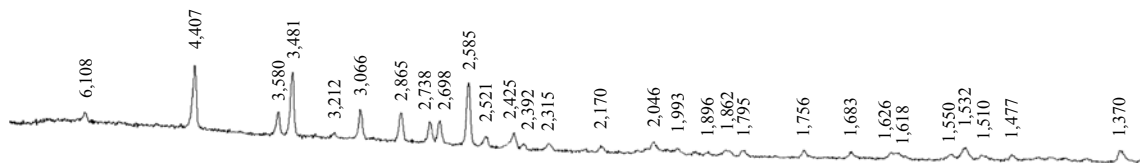


Рис. 3. Рентгенограмма ферроборового шлака

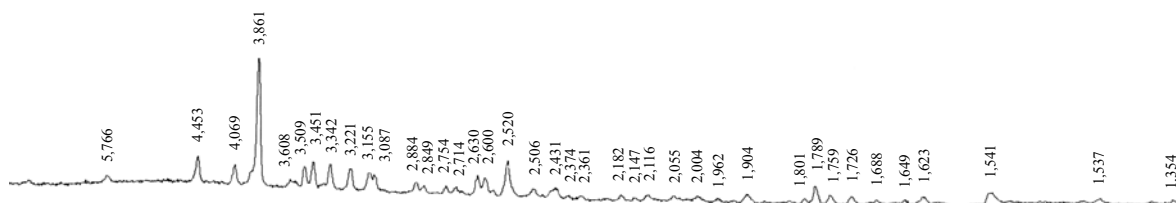


Рис.4. Рентгенограмма серной мастики на ферроборовом шлаке

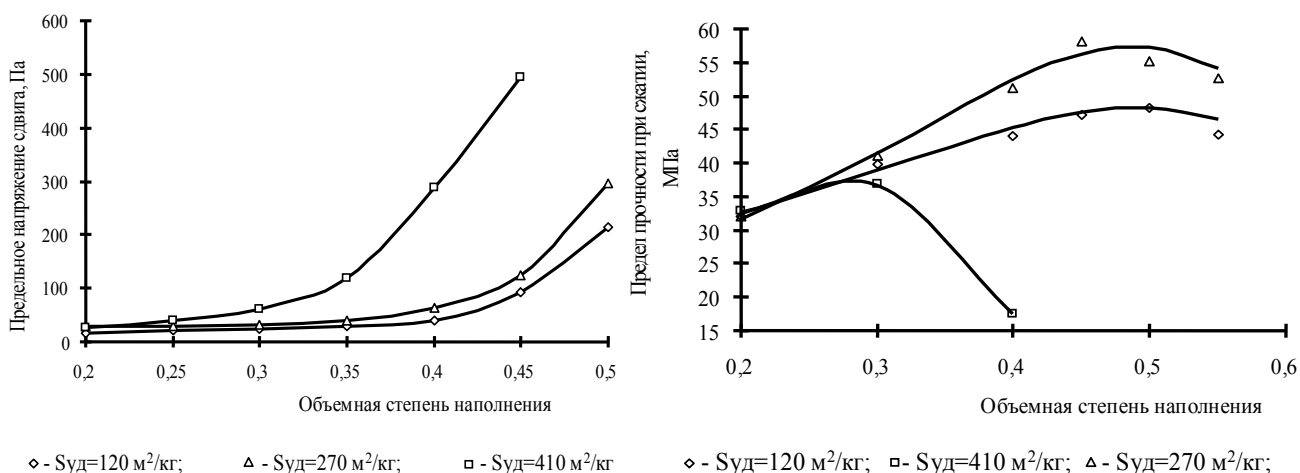


Рис.5. Зависимость предельных напряжений от степени наполнения

Важные результаты были получены приглашенным исследователем, аспирантом Орловского государственного технического университета Булатниковым О.И. по работе, связанной с созданием комплексной методики проектных расчетов и экспериментальной оценки надежности и безопасности пространственных конструктивных систем энергосберегающих стеновых ограждений при запроектных воздействиях.

В частности, была разработана методика расчета и экспериментальной оценки критических параметров динамических нагрузок пространственных

конструктивных систем энергосберегающих стеновых ограждений с элементами составного сечения.

Полученные в процессе выполнения работы новые научные данные будут использоваться для модернизации курсов лекций, лабораторных и практических занятий по динамике конструкций по направлению «Строительство» по специальности «Промышленное и гражданское строительство».

Результаты работы рекомендуется также использовать при испытаниях строительных конструкций ответственных строительных объектов, подверженных рискам сверхпроектных динамических нагрузок.

Полученные результаты внесут определенный позитивный вклад в обеспечение динамической надежности и безопасности объектов промышленного и гражданского строительства России в условиях глобальных изменений климатических условий.

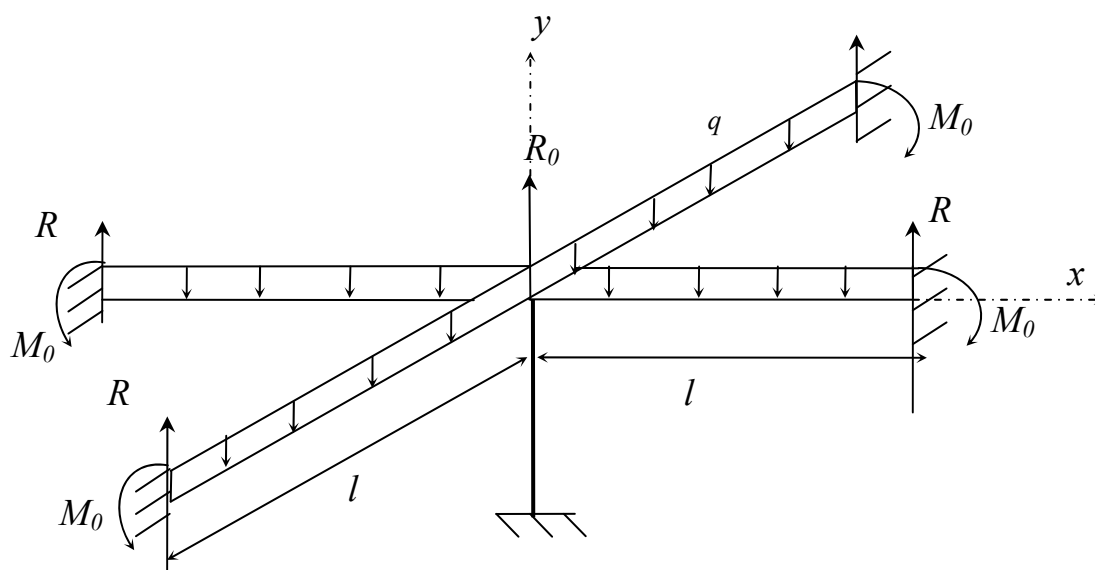


Рис.6.Расчётная схема конструктивной системы

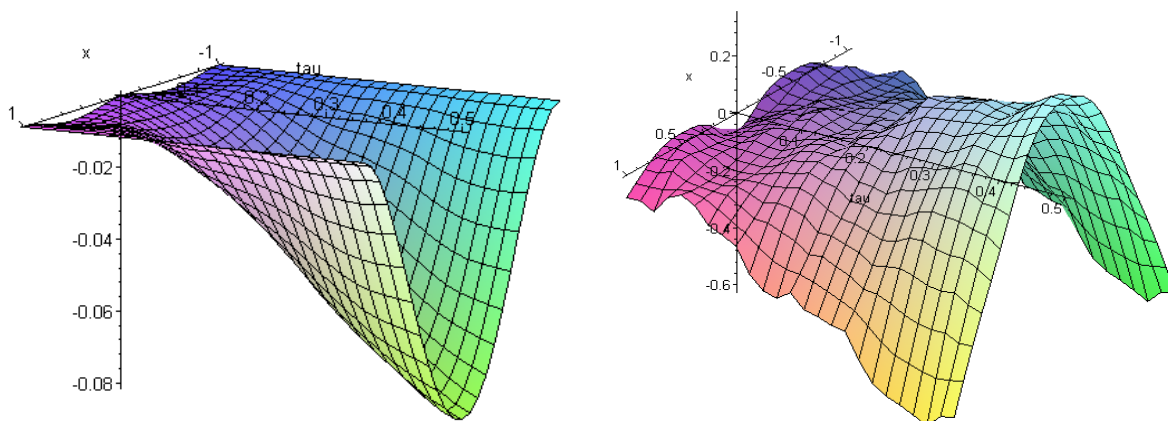


Рис.7. Графики распределения прогибов (а) и максимальных (по сечению) нормальных напряжений вдоль осевых координат и во времени (б)

Аспирантом Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета Хегай А.О. были проведены исследования вариаций локальных критических напряжений при неравномерных нагрузках высокопрочных фибробетонов и верифицированы прочностные и деформативные свойства высокопрочного фибробетона, Выполнены испытания призм армированных фиброй и разработаны эффективные методы расчета конструкций из фибробетона. Исследовано влияние внецентренного характера приложения нагрузок, сформулированы особенности разрушения образцов из высокопрочного бетона.

Рассмотрен важнейший для сталефибробетона (особенность которого состоит в прерывистом характере армирования) вопрос о сцеплении фибры с матрицей.

Разработаны численные методы расчета конструкций из фибробетона. Представлены традиционные, вариационные и операторные постановки задачи теории упругости для анизотропного тела и задачи об изгибе анизотропной плиты. Основная идея предложенных операторных постановок указанных краевых задач состоит в объединении всех частей исходной (традиционной) постановки в одном уравнении с согласованными весовыми характеристиками. В основе реализующих численных подходов лежит метод стандартной (расширенной) области А.Б. Золотова (причем аппроксимация

стандартной области состоит в задании сетки топологически эквивалентной прямоугольной таким образом, чтобы она как можно лучше соответствовала очертаниям конструкции, т.е. исходной области), метод базисных вариаций, метод конечных элементов и использование аппарата обобщенных функций.



Рис.8. Общий вид испытываемых образцов

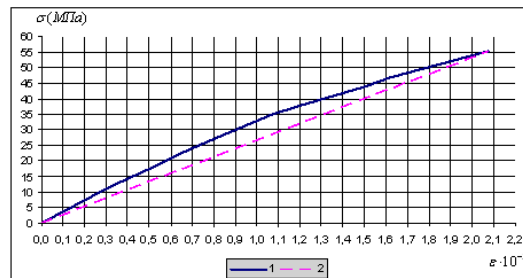


Рис.9. Зависимость напряжения от деформации для образца З-ФП $\mu=3\%$:
1-зависимость $\sigma(t)$;
2- вспомогательная кривая

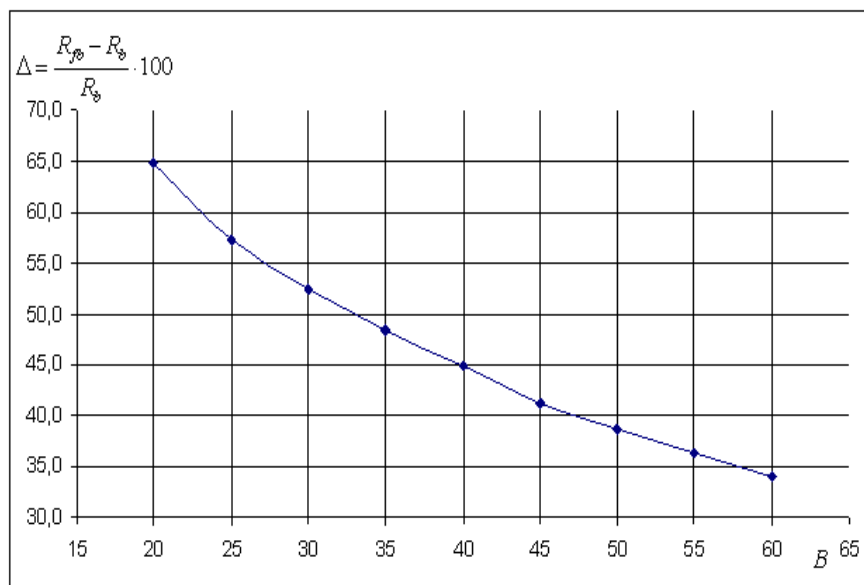


Рис.10. График зависимости прироста прочности на сжатие от класса бетона

Приглашенным исследователем, аспирантом Орловского государственного технического университета Шуваловым К.А. были проведены уникальные исследования зависимости изменения прочности от интенсивности коррозионного повреждения бетона и плотности нанодфектов на поверхности арматуры при плоском напряженном состоянии

Разработана теоретическая модель механизма и методика расчёта зависимости изменения прочности от интенсивности коррозионного повреждения бетона и плотности нанодефектов на поверхности арматуры при плоском напряженном состоянии.

На основе специфической посылки о феноменологическом единообразии кинетики неравновесных процессов продвижения повреждений и развития деформаций ползучести бетона сформулирован общий критерий прочности коррозионно-повреждаемого бетона для случая плоского напряженного состояния. В системе координат главных нормальных напряжений этот критерий описывает поверхность эллипсоида, характерные размеры которого в первую очередь зависят от кинетики коррозионных процессов во времени.

Даны предложения к построению критерия прочности нагруженного коррозионно-повреждаемого бетона при плоском напряженном состоянии, необходимого для решения задач теории живучести железобетонных конструктивных систем в условиях одновременного происхождения силовых и средовых запроектных воздействий. Приведена расчетная модель сопротивления по наклонному сечению, рассмотрены вопросы трещиностойкости по наклонным сечениям, прочность и ширина раскрытия наклонных трещин, уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние коррозионно повреждаемого железобетонного элемента.

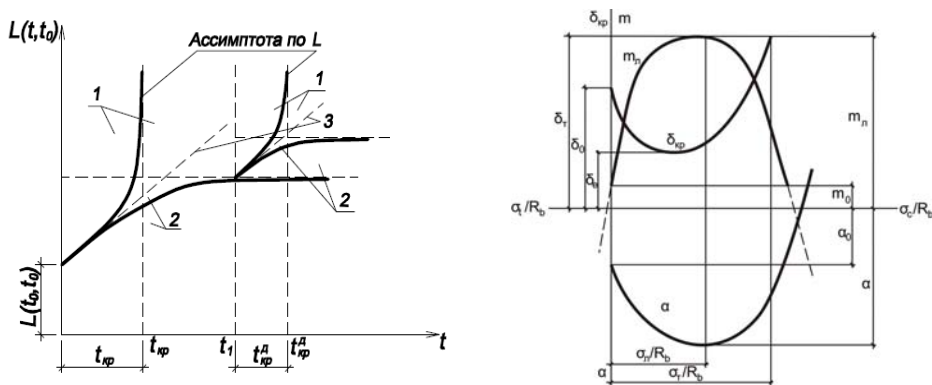


Рис.11. Схемы кинетики повреждений и изменения параметров при сжатии бетона

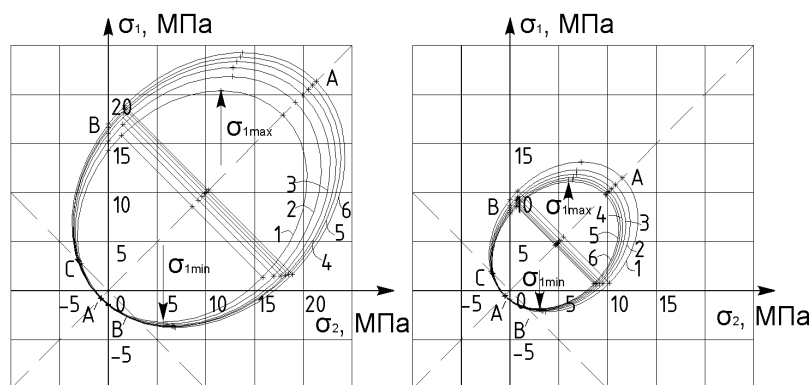


Рис.12. Графики критерия прочности для плоского напряженного состояния в агрессивной среде: вода(а), раствор соляной кислоты (б)

Показано, что разрушение от развития наклонной трещины возможно лишь в железобетонных элементах таврового и двутаврового сечений, а также характерно для статически неопределимых стержневых элементов при наличии на противоположной грани растягивающего изгибающего момента, способствующего снятию сжимающего поля напряжений приопорной арки в двухконсольном элементе. Тогда устойчивая схема развития трещины с позиции механики разрушения становится неустойчивой и происходит разрушение. В работе отмечено, что достаточно строгое определение жесткости стержневого железобетонного элемента в зоне наклонных трещин стало возможным только на основе решения задачи ширины раскрытия трещин. Последовательное рассмотрение этих задач позволило заметно упростить определение напряженно-деформированного состояния составного стержня при учете физической и геометрической нелинейности как слоев, так и податливости швов.

Изучены возможности расчета прочности нагруженного коррозионно-повреждаемого бетона при плоском напряженном состоянии с помощью методов молекулярной динамики.

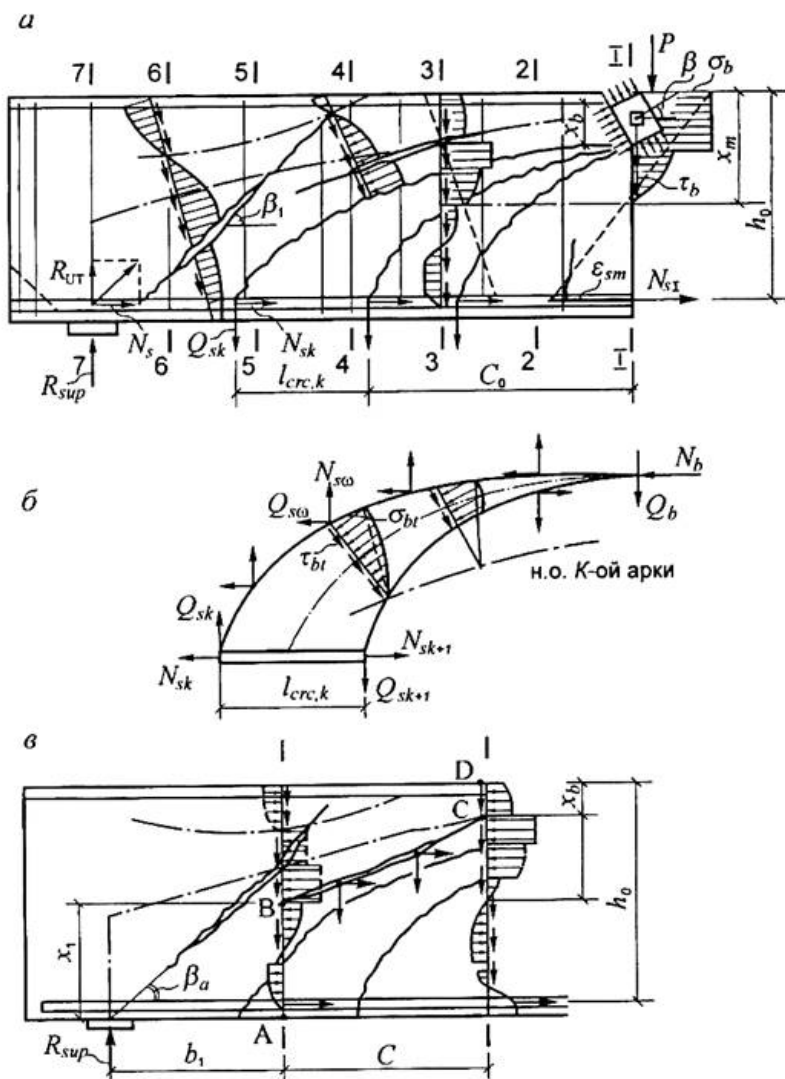


Рис.13. Расчетные схемы арок для определения напряженно-деформированного состояния (НДС), количества и ширины раскрытия трещин, а также жесткости стержневых железобетонных элементов в зоне расчетной модели сопротивления: *а* - схема трещин и НДС; *б* - расчетная схема *k*-ой арки; *в* - расчетная схема для определения ширины раскрытия трещин 3-го типа, образующихся в арках

Младшим научным сотрудником Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета Черевко С.А. были выполнены исследования влияния отсеков дробления гранитного щебня на прочность различных марок бетона.

Проведена разработка составов, определены структура и свойства пенобетонов различных марок по плотности с использованием гранитных

отсевок. Выполнен анализ и обобщение научно-технических данных для разработки состава и исследований пенобетона различных марок по средней плотности для, моделирования структуры и оптимизации предварительно полученного материала, изучение его структуры и свойств.

При этом было установлено, что при газо-воздушном расчетном объеме пор - 83,56 % и поверхностью $6,41 \cdot 10^3 \text{ м}^2$ толщина перегородки между ними достигает 25,6 мкм, а по гранулометрическому и элементному составу отсевок гранитного щебня могут быть использованы для приготовления пенобетона различных марок по средней плотности.

В настоящее время применяются ячеистые бетоны на основе цементной и цементно-известковой матрицы, а также с добавлением песка различной удельной поверхности. Установлено, что введение в пенобетонную смесь отсевок мельче фракции 0,63 мм позволит без ухудшения физико-механических свойств получить пенобетон различных марок по плотности с такими же свойствами, как и традиционный.

Результаты исследований были использованы для оценки эффективности применения гранитной пыли асфальтобетонного завода «ООО Стройкомплект» в качестве наполнителя для пенобетона неавтоклавного твердения. Бала также выяснена возможность применения отходов дробления горных пород. Наряду с традиционным наполнителем - кварцевым песком, в технологии неавтоклавного пенобетона может использоваться гранитный отсев. Согласно ГОСТ 25485-89 данный вид бетона может использоваться как в качестве теплоизоляционного, так и в качестве конструкционно-теплоизоляционного материала. Марка по плотности может варьироваться от D300 до D 1200, класс по прочности от B0,5 до B15.

Размеры отверстий сит, мм	0,5	0,2	0,125	0,08	0,071	0,045	< 0,045
Остаток, гр	10	96	118	228	50	315	183
Частный остаток, %	1	9,6	11,8	22,8	5	31,5	18,3
Полный остаток, %	1	10,6	22,4	45,2	50,2	81,7	-

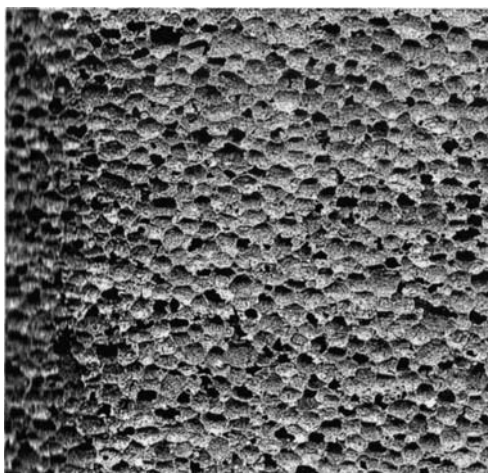


Рис.14. Структура газо-воздушных пор ячеистого бетона средней плотности 200 кг/м^3 .

Приглашенным исследователем, аспирантом Брянской инженерно-технологической академии Пыкиным А.А. были проведены исследования динамической устойчивости изделий из наномодифицированного мелкозернистого бетона.

Выполнена разработка наноструктурных добавок и проведено исследование их влияния на реологические свойства бетонной смеси и технико-эксплуатационные свойства мелкозернистого бетона. Изучено поведение бетона при статическом и динамическом нагружениях в условиях одноосного напряженного состояния.

В результате этих исследований были разработаны оптимальные составы и технология получения мелкозернистого бетона, модифицированного шунгитовой наноструктурной добавкой, а также испытательный стенд на одноосное сжатие и средства измерений деформаций бетонных образцов-балочек размерами $40 \times 40 \times 160$ мм при статическом и динамическом нагружениях; отработана методика проведения экспериментальных исследований с регистрацией необходимых характеристик мелкозернистого бетона. Рассмотрена возможность повышения эффективности мелкозернистого бетона на основе местного сырья путем модификации его структуры наноструктурным шунгитовым наполнителем.

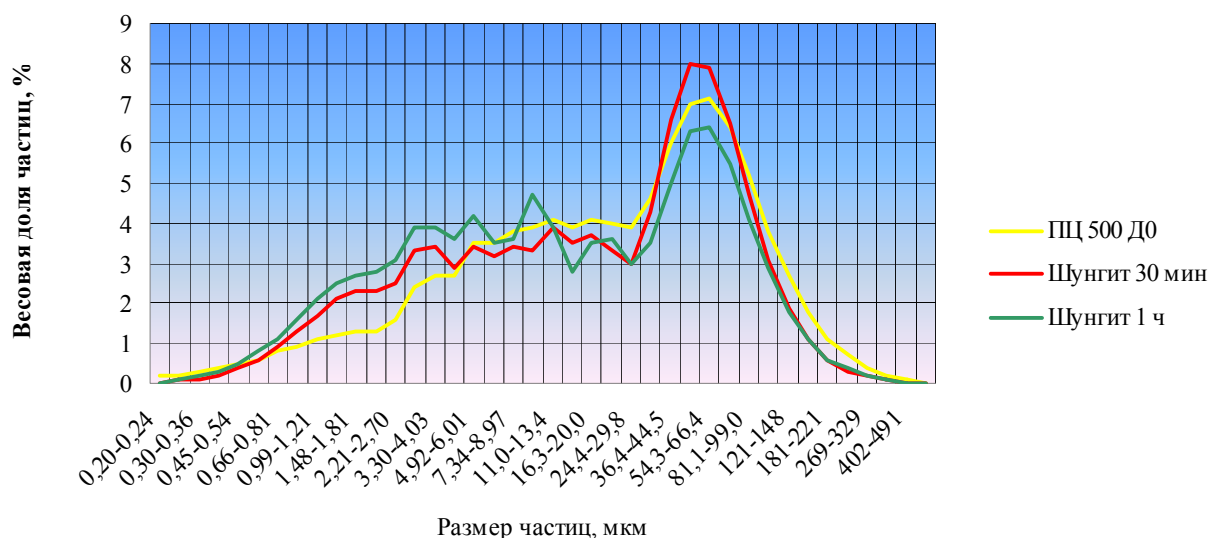


Рис.15. Зависимость весовой доли частиц от их размера

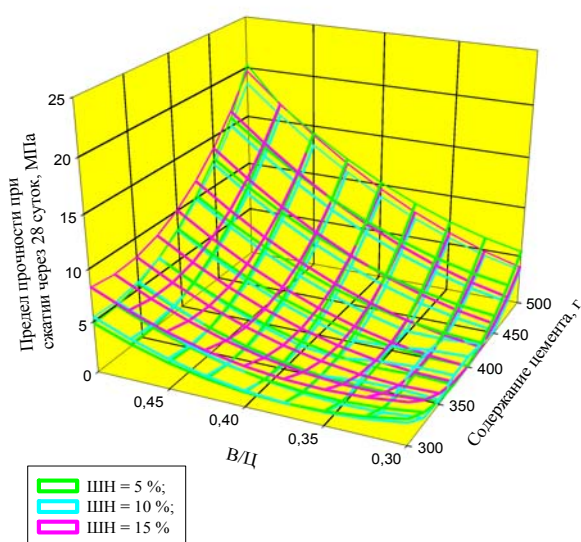


Рис.16. Номограмма зависимости предела прочности при сжатии бетона через 28 суток от содержания добавки ШН, цемента и В/Ц

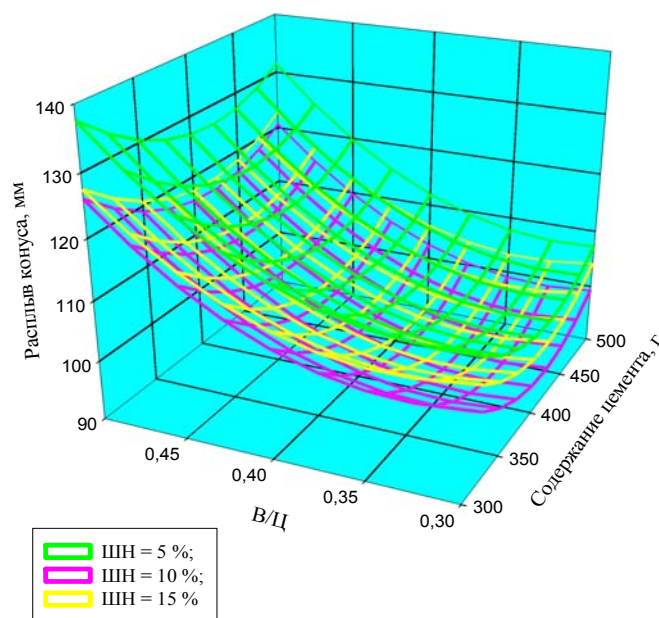


Рис.17. Номограмма зависимости подвижности бетонной смеси от содержания добавки ШН, цемента и В/Ц

Приглашенным исследователем, доцентом Пензенского государственного университета архитектуры и строительства Макаровой Л.В. были проведены исследования влияния неравномерных локальных напряжений на трещиностойкость защитных покрытий.

По результатам исследований был разработан состав шпатлевки, предназначенной для выравнивания бетонных и штукатурных поверхностей и включающий шлам нейтрализации полировальной смеси стекольного

производства, гидроксид натрия, известь–пушонку, клей КМЦ, раствор жидкого стекла.

Установлены закономерности структурообразования разработанной шпатлевки. Методом рентгенофазового анализа установлено наличие силикатов и алюминатов кальция в структуре шпатлевки. Определены основные физико-механические свойства разработанной шпатлевки.

Выявлены закономерности трещинообразования покрытий в процессе старения. На основе анализа результатов, полученных с использованием предлагаемой методики оценки трещиностойкости покрытий и метода акустической эмиссии, установлен различный характер изменения коэффициента интенсивности напряжений в покрытиях в зависимости от вида покрытия, продолжительности и характера старения.

Разработаны материаловедческие пути повышения трещиностойкости защитно-декоративных покрытий.

Установлено, что выравнивание цементной подложки разработанным составом шпатлевки способствует снижению коэффициента интенсивности напряжений в покрытии. Установлено снижение на 11% коэффициента интенсивности напряжений в алкидных покрытиях после 5 циклов попеременного замораживания-оттаивания по сравнению с масляно-клеевой шпатлевкой.

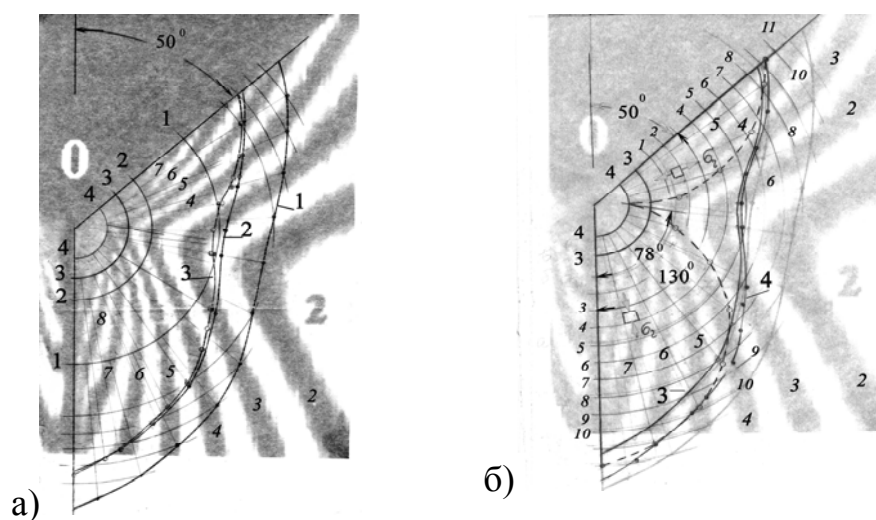


Рис.18. Одна из областей плоской модели с раствором торца $2\alpha = 260^0$:
 а) эпюры порядков полос m в сечениях 1, 2, 3; б) эпюры порядков полос m
 в сечениях 3, 4 и радиальных напряжений σ_r в сечении 4 (пунктир)

исследования закономерностей структурообразования радиационно-защитных композитов на основе жидкого стекла, отверждённых нестандартными отвердителями были выполнены приглашенным исследователем, аспирантом Пензенского государственного университета архитектуры и строительства Гришиной А.Н.

В результате исследований были определены физико-механические свойства жидкостекольных композитов по разработанной оригинальной методике, позволяющей установить пределы прочности при изгибе и сжатии, а также работу разрушения материала. Установлен механизм взаимодействия жидкого стекла с альтернативными отвердителями (хлоридом бария и свинца), идентифицированы продукты химической реакции жидкого стекла и хлорида бария.

Выявлены особенности структурообразования жидкостекольных смесей, содержащих хлориды бария или свинца, заключающиеся в последовательном протекании процессов, обеспечивающих формирование начальной «сетки» продуктов реакции и последующей её деформацией при упрочнении структуры материала.

Исследованы свойства получаемых материалов: средняя плотность, пористость, прочность при сжатии, а также реологические свойства жидкостекольных смесей и разработана методика для определения сроков схватывания.

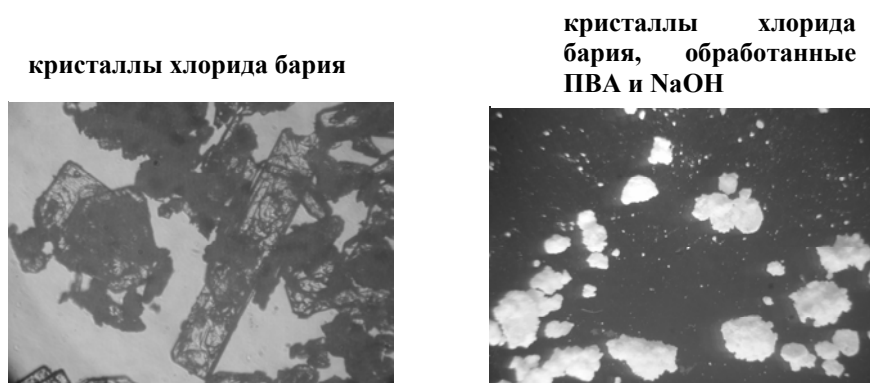


Рис.19. Модифицирование отвердителя смесью поливинил-ацетатной дисперсии и раствора гидроксида натрия

Благодаря применению метода рентгенофазового анализа установлен механизм взаимодействия жидкого стекла с альтернативными отвердителями

(хлоридом бария и свинца), идентифицированы продукты химической реакции жидкого стекла и хлорида бария.

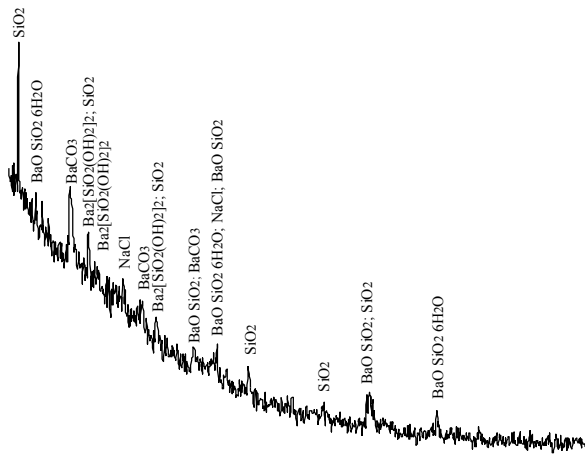


Рис.20. Рентгенограмма продуктов взаимодействия жидкого стекла и хлорида бария, взятого в стехиометрическом соотношении

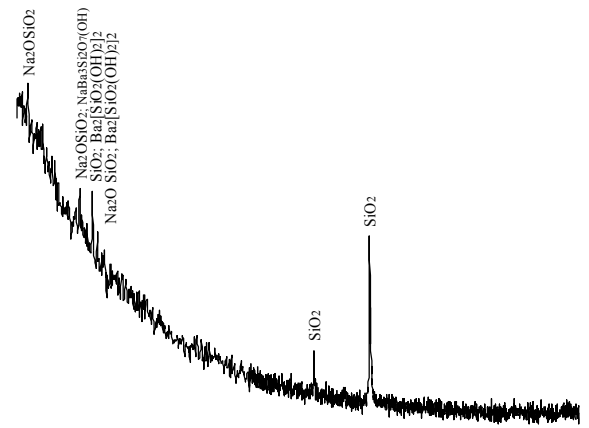


Рис.21. Рентгенограмма продуктов взаимодействия жидкого стекла и хлорида бария, взятого в количестве 75%

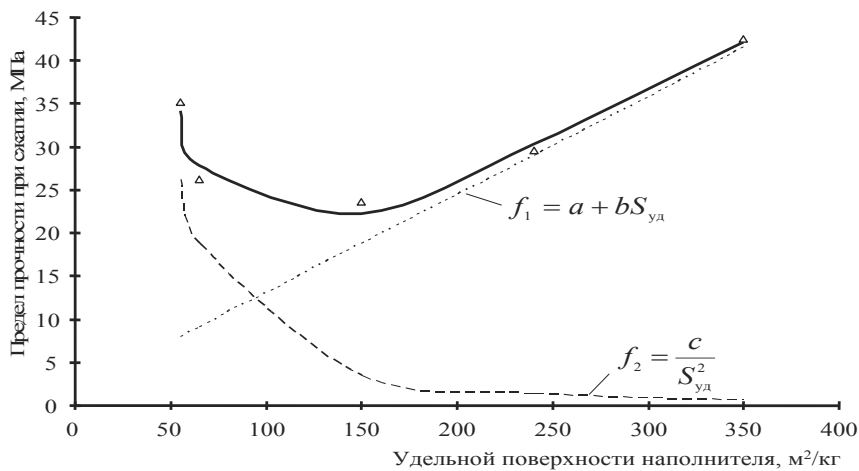


Рис.22. Зависимость прочности композита от удельной поверхности ферроборового шлака

Выявлены особенности структурообразования жидкостекольных смесей, содержащих хлориды бария или свинца, заключающиеся в последовательном протекании процессов, обеспечивающих формирование начальной «сетки» продуктов реакции и последующей её деформацией при упрочнении структуры материала. Это позволило в сжатые сроки получить

принципиально новые результаты исследований, обладающие несомненной научной новизной и практической значимостью.

Объекты интеллектуальной и промышленной собственности, созданные на отчетном этапе представляет собой объекты типа «инжиниринг» в области методик исследования реологических и механических свойств радиационно-защитных жидкостекольных композитов в условиях глобального роста интенсивности аварийно опасных многоцикловых сейсмических и геодеформационных нагрузок

Приглашенным исследователем, аспирантом Пензенского государственного университета архитектуры и строительства Давыдовой О.А. были выполнены исследования технологических свойств и разработка оптимальных по составу известковых растворов с добавкой золя.

Основной целью работы было улучшение химической и механической прочности известковых растворов, модифицированных золь-гель методом с помощью введения коллоидных растворов (золей) диоксида кремния.

По результатам исследований были разработаны практические методики введения оксидов двух- и трехвалентных металлов в прекурсоры кремнезема – с получением, таким образом, водорастворимых прекурсоров силикатов кальция, магния, цинка, алюминия и других двух- и трехвалентных металлов.

Изучены химические и физико-химические свойства водных растворов прекурсоров кремнезема и силикатов. С помощью специально разработанной программы “SIKIM” рассчитаны параметры молекулярно-массового распределения (ММР) кремнекислородных анионов (ККА) в водных растворах кремнийсодержащих прекурсоров. Уточнена формула, позволяющая рассчитать среднюю степень полимеризации ККА и их средний диаметр в растворах полисиликатов, исходя из величины общей концентрации кремнезема и значения рН раствора.

Исследована роль катионов двух- и трехвалентных металлов, в частности, цинка и алюминия, в получении водостойких щелочно-силикатных пеноматериалов с использованием золь-гель технологии. В

частности, разработан метод получения таких материалов путем прямого растворения оксида цинка в натрий-силикатном гидрогеле при повышенных температурах.

Разработана методика оценки водоудерживающей способности отделочных слоев, наносимых на пористую поверхность небольшой толщины.

Таблица 1. Химическая структура кристаллических силикатов и гидросиликатов натрия

Кристаллическая фаза	Тип структуры	Характеристика ККА		
		<i>n</i>	<i>x</i>	<i>Q</i>
Na ₄ SiO ₄	Островной (орто-)	1	2,0	0
Na ₆ SiO ₇	Островной (диорто-)	2	1,5	1
Na ₂ SiO ₃	Линейный полимер	∞	1,0	2
Na ₂ Si ₂ O ₅ (α- и β-формы)	Слоистый полимер	∞	0,5	3
Na ₆ Si ₈ O ₁₉ (α- β-формы)	Каркасный полимер	∞	0,375	3,25
Na ₂ Si ₃ O ₇	Каркасный полимер	∞	0,33	3,33
Na ₂ SiO ₃ ·1,5-9 H ₂ O	Островной (орто-)	1	2,0	0
Na ₂ Si ₃ O ₇ ·H ₂ O	Каркасный полимер	∞	0,33	3,33

Таблица 2. Константы скорости (мин⁻¹) некоторых анионов с молибдатным реактивом

Кремнекислородные анионы		
Формула	Названия	k
SiO ₄ ⁻⁴	Орто-	1,5
Si ₂ O ₇ ⁻⁶	Дорто-	0,82
Si ₄ O ₁₂ ⁻⁸	Циклотетра-	0,70
Si ₅ O ₁₅ ⁻¹⁰	Циклопента-	0,66
Si ₆ O ₁₈ ⁻¹²	Циклогекса-	0,60
Si ₆ O ₁₅ ⁻⁶	Бициклогекса-	0,58

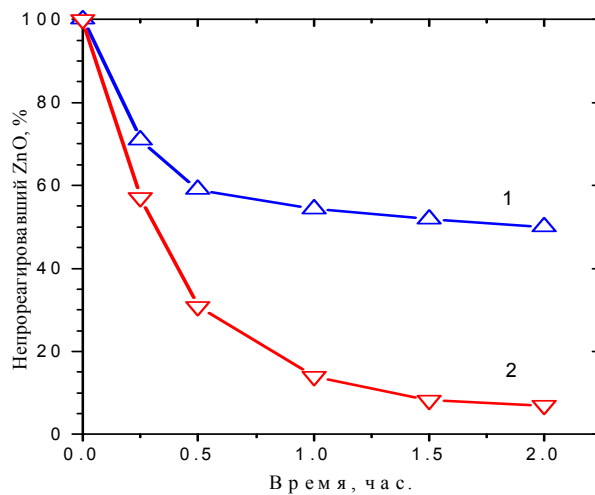


Рис.23. Кинетика растворения ZnO в натрий-силикатном гидрогеле при 125°C:
 1 - на открытом воздухе;
 2 - в закрытом контейнере

Важные исследование рисков прогрессирующего обрушения при эксплуатации несущих конструкций были выполнены аспирантом Тамбовского государственного технического университета Соломатиным Е.О.

В число актуальных задач данного исследования входили следующие

Оценка опасности прогрессирующего обрушения конструкций, обусловленной ошибками проектирования, изготовления, монтажа или неправильной эксплуатацией сооружения.

выявление «ключевых» элементов, расположенных в местах вероятных аварийных воздействий, выход из строя которых влечет за собой лавинообразное обрушение всей конструкции.

Выбор рациональных конструктивных решений и материалов, обеспечивающих несущую способность сооружения даже при локальных повреждениях, предотвращать лавинообразное обрушение системы вследствие разрушения второстепенных элементов конструкции, узлов (связи, элементы, обеспечивающие устойчивость «ключевых» конструкций, и т.п.).

Проектирование «ключевых» элементов, способных воспринимать аварийные воздействия

Прочность и устойчивость сооружения против прогрессирующего обрушения проверялась расчетом конструкций на особое сочетание нагрузок и воздействий, включающих постоянные и временные длительные нагрузки, а также одно из аварийных ударных воздействий, соответствующих определенной чрезвычайной ситуации.

Основные требования по организации надлежащей эксплуатации сооружений, обеспечивающей безопасность сооружений от прогрессирующего обрушения, включая проведение инструментального мониторинга, отслеживающего техническое состояние элементов и конструкций в целом, их деформаций во времени и при различных нагрузках, при их возведении и после сдачи в эксплуатацию.

Требования по обеспечению безопасности от прогрессирующего обрушения при проектировании, строительстве

Расчет конструкций с учетом изменчивости параметров

Изменчивость нагрузок, действующих на строительные конструкции, связанных с вероятным отклонением параметров элементов от проектных параметров в процессе изготовления, обусловленные изменением объемной массы материала, влажности, отклонениями геометрических размеров от номинальных, вызванных особенностями технологии изготовления элементов, а также физико-механическими изменениями в процессе эксплуатации.

В результате работы была установлена связь между заданной степенью обеспеченности i в % с расчетным числом s стандартов на рис. 24.

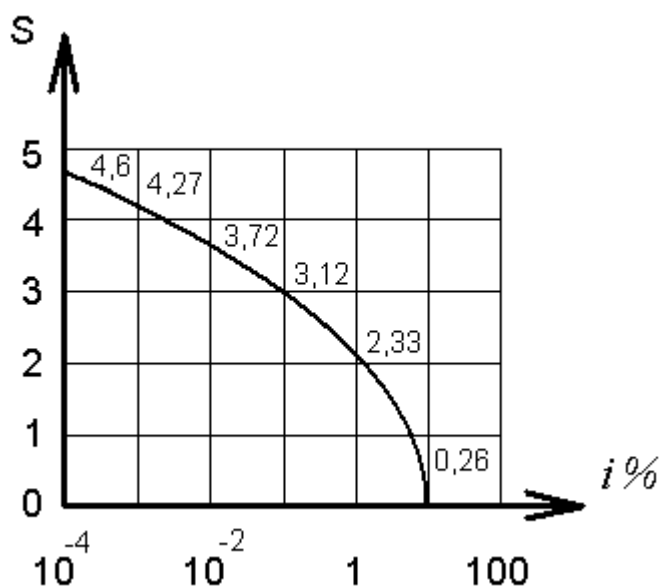


Рисунок 24 - Связь между степенью обеспеченности $i\%$ и расчетным числом стандартов s

Соответствующие результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

n _n	n _i %						
	i%						
	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	50
1	1	1	1	1	1	1	1
1,1	1,15	1,14	1,12	1,10	1,08	1,01	1
1,2	1,31	1,28	1,25	1,21	1,16	1,02	1
1,3	1,46	1,43	1,37	1,31	1,23	1,03	1
1,4	1,61	1,57	1,50	1,41	1,31	1,03	1
1,5	1,77	1,71	1,62	1,52	1,39	1,04	1
1,6	92	1,85	1,74	1,62	1,47	1,05	1

Методом статистической обработки результатов испытаний была дана оценка изменчивости механических характеристик прочности конструкционных материалов с точки зрения полученных кривых деформирования, выявления пределов текучести, временных сопротивлений.

Установленная связь между характеристикой безопасности и вероятностью разрушения приведена в табл. 4.

Таблица 4.

V	0,1	0,01	0,001	0,0001	$3,2 \times 10^{-5}$	3×10^{-6}	$2,9 \times 10^{-7}$
γ	1,28	2,32	3,15	3,77	4,0	4,5	5,0

Старшим преподавателем Самарского государственного архитектурно-строительного университета Галицковой Ю.М. были проведены детальные исследования способов защиты окружающей среды от загрязнения твердыми бытовыми и промышленными отходами

В результате анализа выполненных натуральных обследований необустроенных свалок выявлено следующее. Все многообразие необустроенных свалок можно разделить на следующие типы: свалки из твердых бытовых отходов, на которые приходится 76 % всех свалок, свалки отходов строительного характера – 8 %, а также смешанные свалки – 16 % (рис. 25).

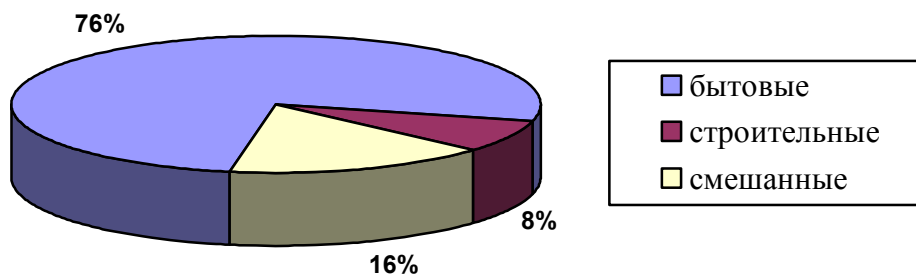


Рисунок 25 - Типы необустроенных свалок по характеру отходов

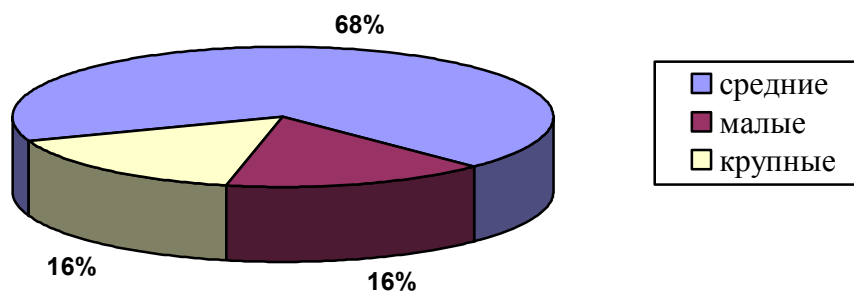


Рисунок 26 - Типы необустроенных свалок по объему отходов

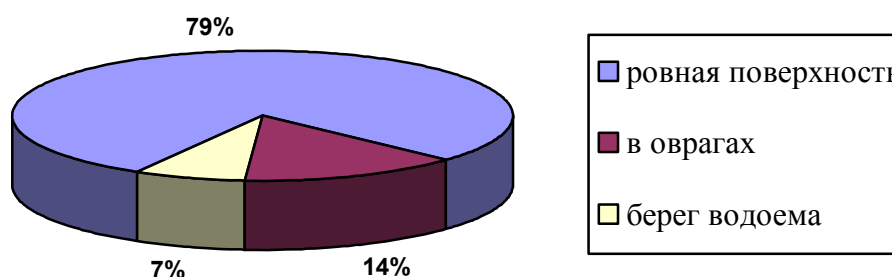


Рисунок 27 - Результаты обследования рельефа местности расположения необустроенных свалок

Результаты физико-механического исследования проб грунта под свалками показали, что в большинстве анализируемых вертикалей грунты по всей исследуемой глубине представлены техногенным грунтом.

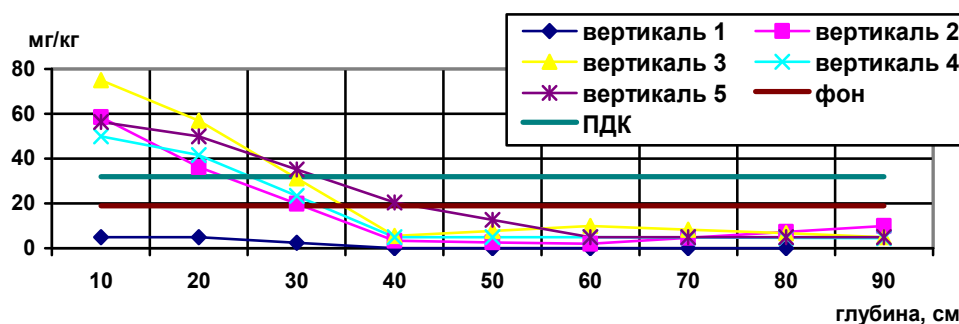


Рисунок 28 – Пример изменения концентрации свинца по глубине

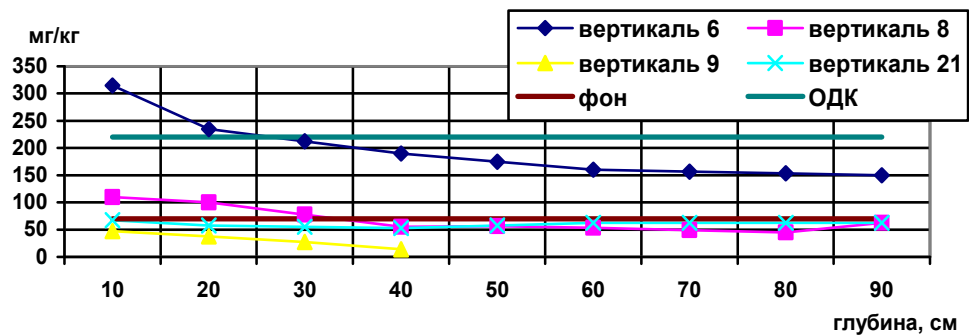


Рисунок 29 - Пример изменения концентрации цинка по глубине

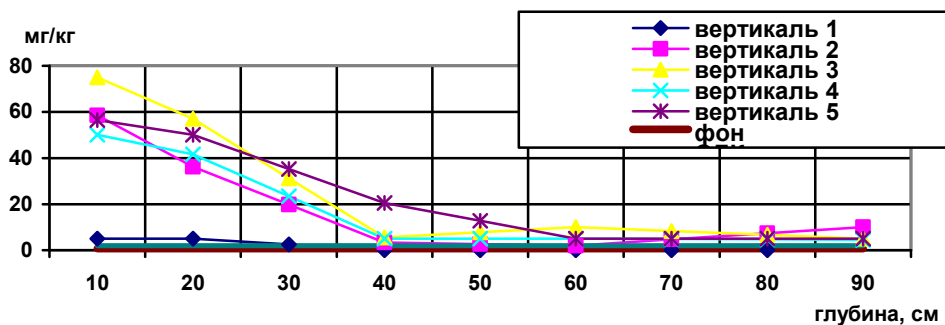


Рисунок 30 - Пример изменения концентрации кадмия по глубине

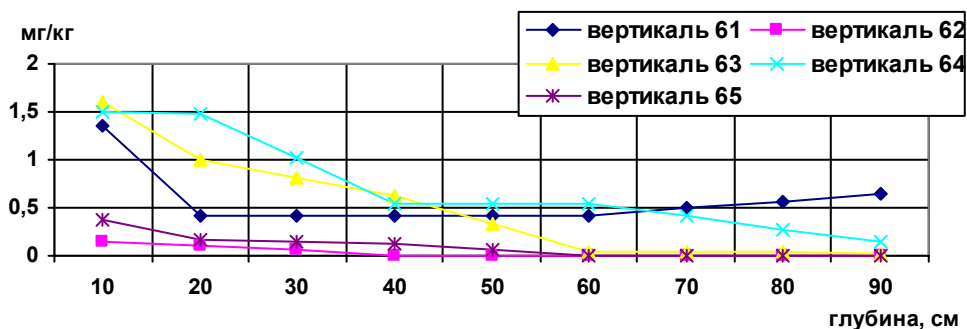


Рисунок 31 - Пример изменения концентрации фенола по глубине

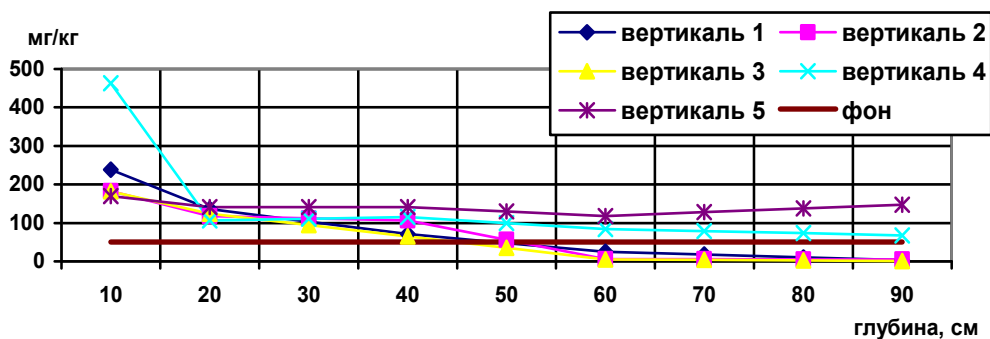


Рисунок 32 - Пример изменения концентрации нефтепродуктов по глубине

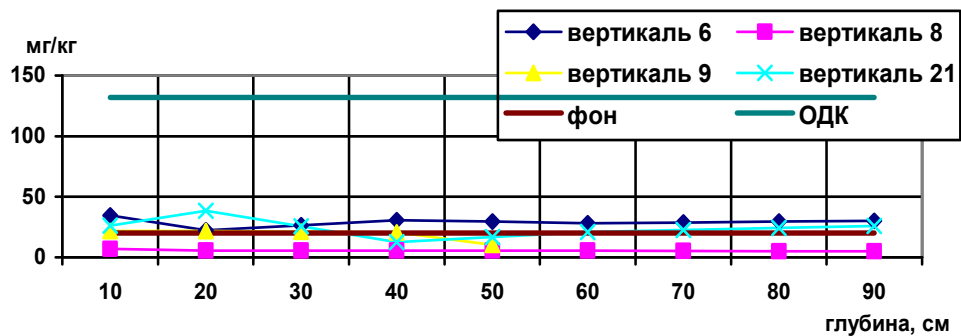


Рисунок 33 - Пример изменения концентрации меди по глубине

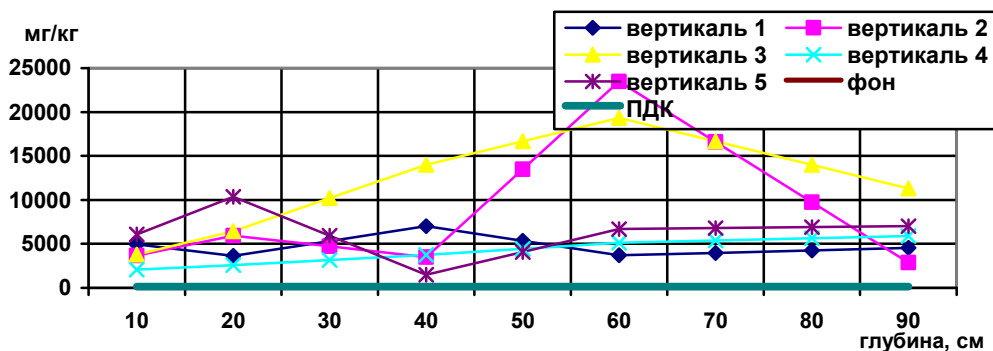


Рисунок 34 - Пример изменения концентрации сульфатов по глубине

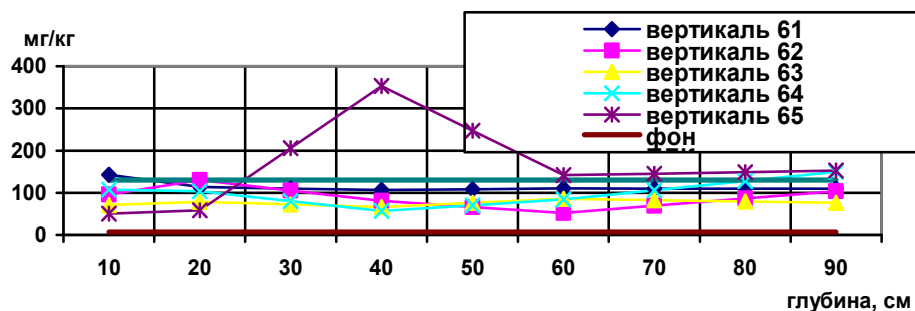


Рисунок 35 - Пример изменения концентрации нитратов по глубине

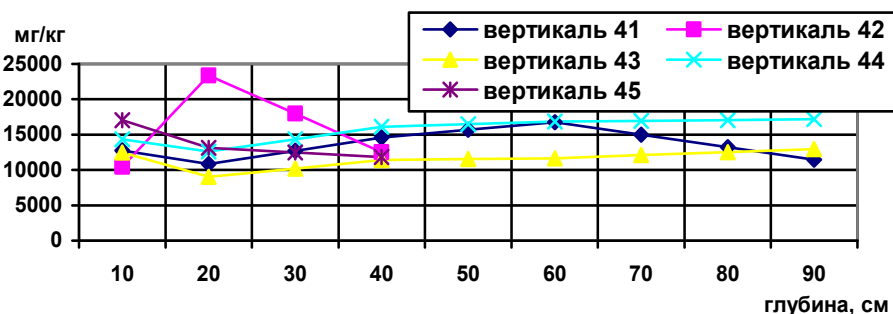


Рисунок 36 - Пример изменения концентрации железа по глубине

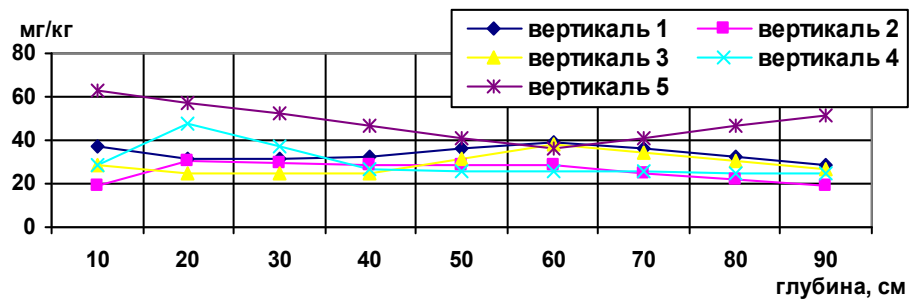


Рисунок 37 - Пример изменения концентрации хрома по глубине

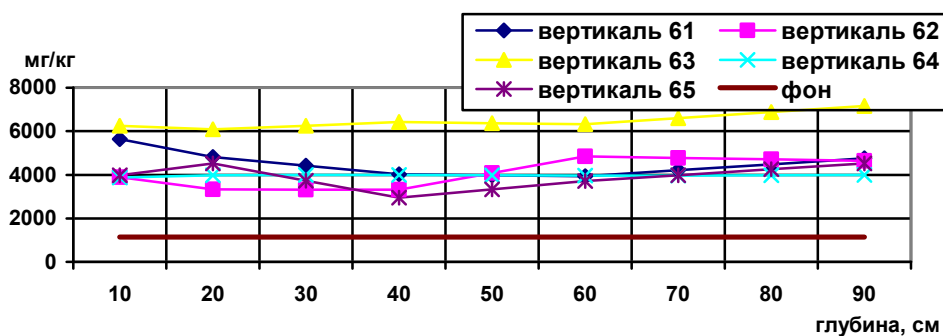


Рисунок 38 - Пример изменения концентрации алюминия по глубине

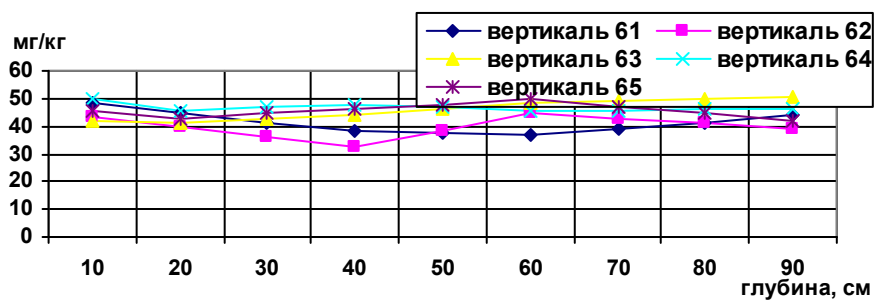


Рисунок 39 - Пример изменения концентрации марганца по глубине

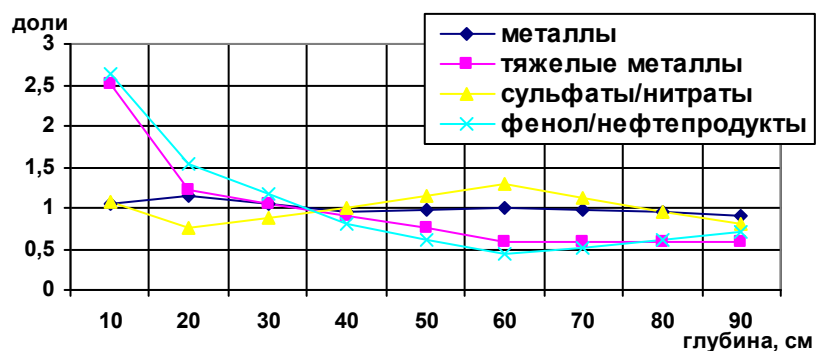
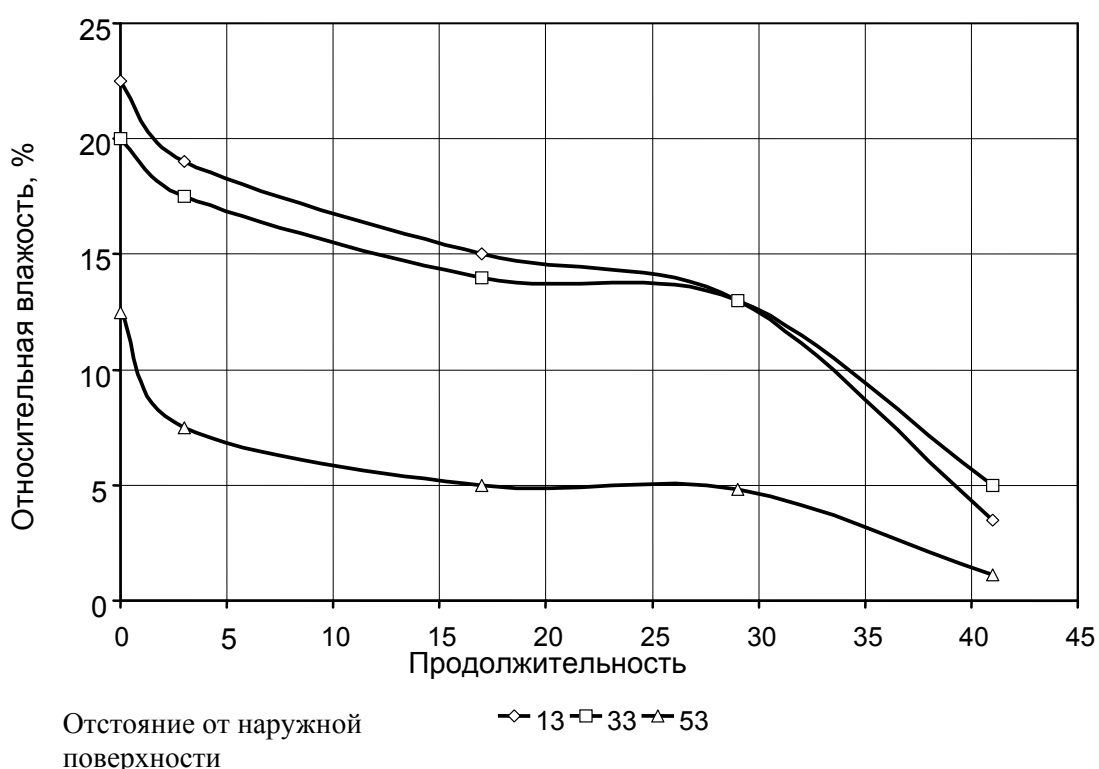


Рисунок 40 – Пример характерного распределения загрязняющих веществ по глубине

В соответствии с методикой были проведены многочисленные лабораторные опыты по изучению проникновения жидкости в грунт.

Доцентом Воронежского государственного архитектурно-строительного университета Коротких Д.Н. было выполнено исследование эксплуатационных теплозащитных характеристик одно- и двухслойных стеновых газосиликатных конструкций

В рамках данной темы были изучено изменение относительной влажности газосиликата в конструкции стены во времени (испытания проводились в летнее время) при различных сечениях представлено на рис. 41 (северная сторона) и на рис. 42 (южная



сторона).

Рисунок 41 - Изменение относительной влажности газосиликата в конструкции стены во времени в различных точках сечения (северная сторона) во времени в различных точках сечения (южная сторона)

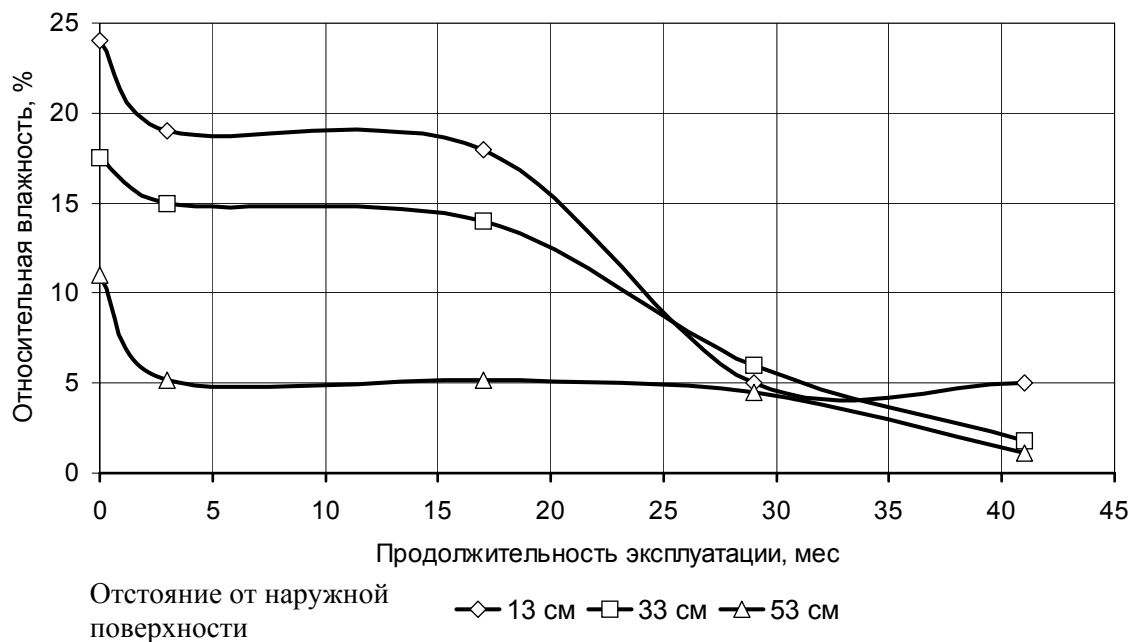


Рисунок 42 - Изменение относительной влажности газосиликата в конструкции стены

Для расчета термического сопротивления наружных стен зданий с применением газосиликата было определено усредненное значение относительной влажности газосиликата по толщине стены;

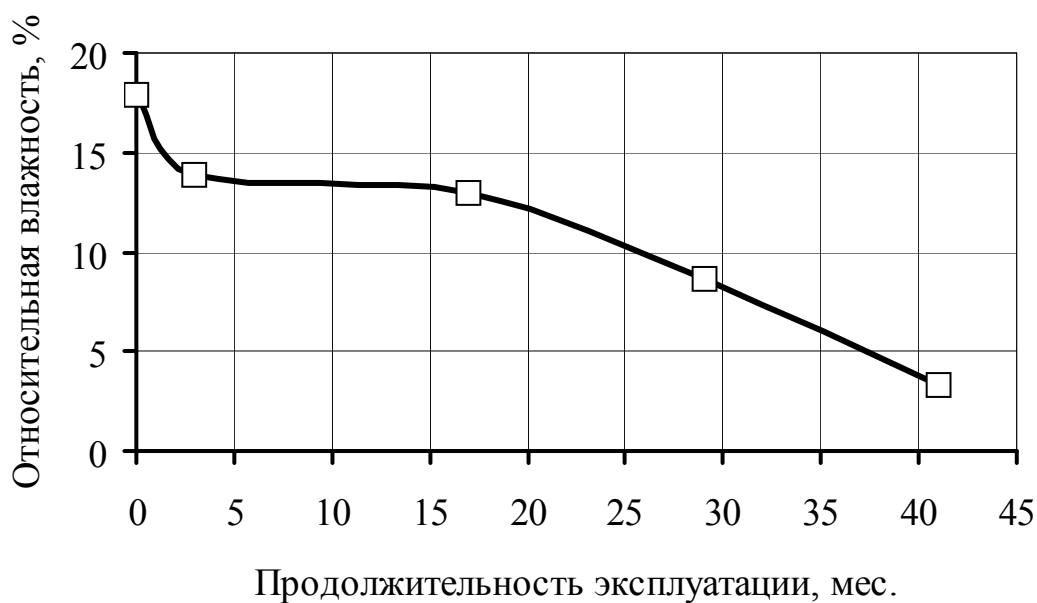


Рисунок 43 - Усредненные значения массовой доли влаги в газосиликате наружных стен в зависимости от продолжительности эксплуатации и ориентации по сторонам света (испытания проводились в летнее время)

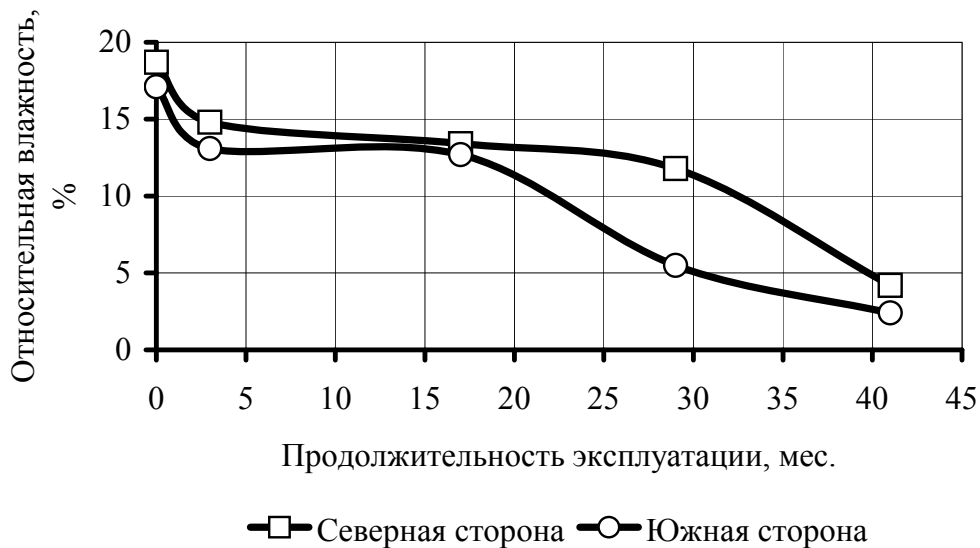


Рисунок 44 - Усредненные значения массовой доли влаги в газосиликате наружных стен в зависимости от продолжительности эксплуатации в среднем по зданию (испытания проводились в летнее время)

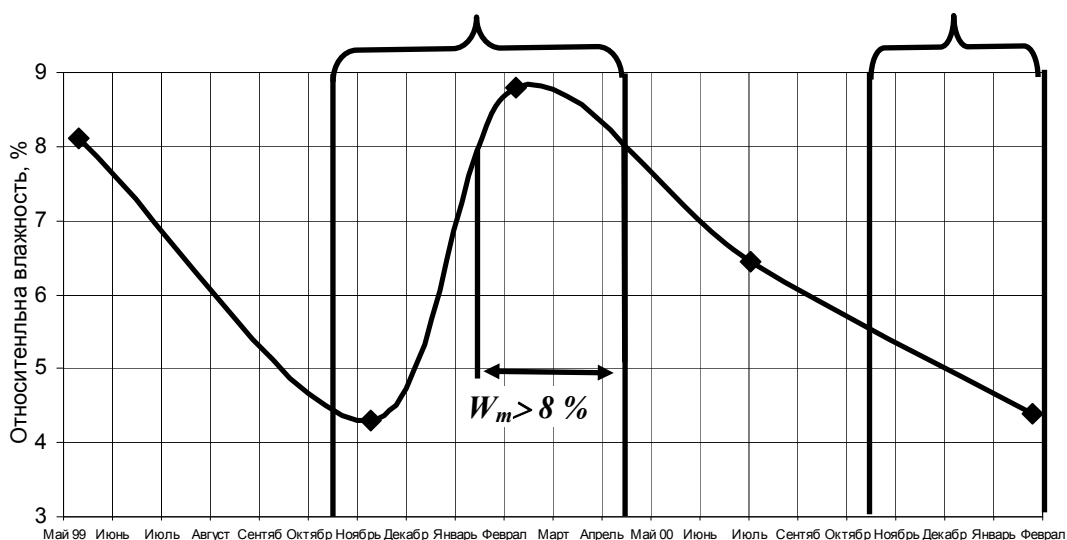


Рисунок 45 - Изменение усредненных значений влажности газосиликатной части стены в целом по зданию в двухгодичном цикле наблюдений

Для оценки термического сопротивления двухслойных наружных стен с применением газосиликата специально разработана компьютерная программа, позволяющая рассчитывать термическое сопротивление стены в зависимости от влажностного состояния материалов (кирпича и газосиликата), их средней плотности и ориентации стен по сторонам света с учетом срока эксплуатации здания.

Величины термического сопротивления каждого из слоев и конструкции для различных климатических условий при кладке нижних и верхних этажей (по наибольшей неблагоприятности – наибольшей плотности) представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 - Термическое сопротивление слоев газосиликатной кладки

Время испытания	Север				Юг			
	1-й слой		2- слой		1-й слой		2- слой	
	Термическое сопротивление для нижних этажей, м ² °C/Вт	Термическое сопротивление для верхних этажей, м ² °C/Вт	Термическое сопротивление для нижних этажей, м ² °C/Вт	Термическое сопротивление для верхних этажей, м ² °C/Вт	Термическое сопротивление для нижних этажей, м ² °C/Вт	Термическое сопротивление для верхних этажей, м ² °C/Вт	Термическое сопротивление для нижних этажей, м ² °C/Вт	Термическое сопротивление для верхних этажей, м ² °C/Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Май 1999	0,42	0,54	0,87	1,12	0,59	0,76	1,06	1,37
Ноябрь 1999	0,57	0,73	1,31	1,69	0,55	0,71	1,11	1,43
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Март 2000	0,46	0,59	0,96	1,35	0,47	0,61	0,97	1,39
Август 2000	0,55	0,71	0,99	1,27	0,59	0,75	1,13	1,45
Февраль 2001	0,43	0,55	0,93	1,20	0,61	0,78	1,13	1,45

Таблица 6 - Термическое сопротивление стеновой конструкции

Время испытания	Север		Юг	
	Термическое сопротивление для нижних этажей, м ² С/Вт	Термическое сопротивление для верхних этажей, м ² С/Вт	Термическое сопротивление для нижних этажей, м ² С/Вт	Термическое сопротивление для верхних этажей, м ² С/Вт
1	2	3	4	5
Май 1999	1,49	1,85	1,84	2,31
1	2	3	4	5
Ноябрь 1999	2,1	2,61	1,85	2,32
Март 2000	1,6	2,11	1,62	2,18
Август 2000	1,73	2,17	1,90	2,4
Февраль 2001	1,55	1,95	1,92	2,41

Исследование локального напряженно-деформированного состояния упрочняющих покрытий было выполнено аспирантом Воронежского государственного архитектурно-строительного университета Черных Д.И.

По этой теме были исследованы особенности поля напряжений в тонкой сферической оболочке с учетом её конструктивных неоднородностей в виде технологических проходов различной формы и взаиморасположения. Обоснованы способы снятия концентрации напряжений, обусловленной отверстиями различной формы и взаиморасположения, за счет применения упрочняющих накладок.

При этом решались следующие две задачи. Задача № 1: найти экспериментальную величину коэффициента концентрации напряжений для отверстия круглой формы при

двухосном растяжении и произвести сопоставление с теоретическим решением, полученным для плоской задачи. Задача № 2: выявить влияние кривизны оболочки на конфигурацию поля напряжений в окрестности отверстия с диаметром $d_{\max} = D/8$.

Для экспериментального подтверждения этого результата была испытана плоская модель с аналогичным отверстием при двухосном растяжении.

Сопоставление эпюр показывает, что влияние подкрепления на величину максимального растягивающего напряжения в среднем снизилось примерно в 2 раза.

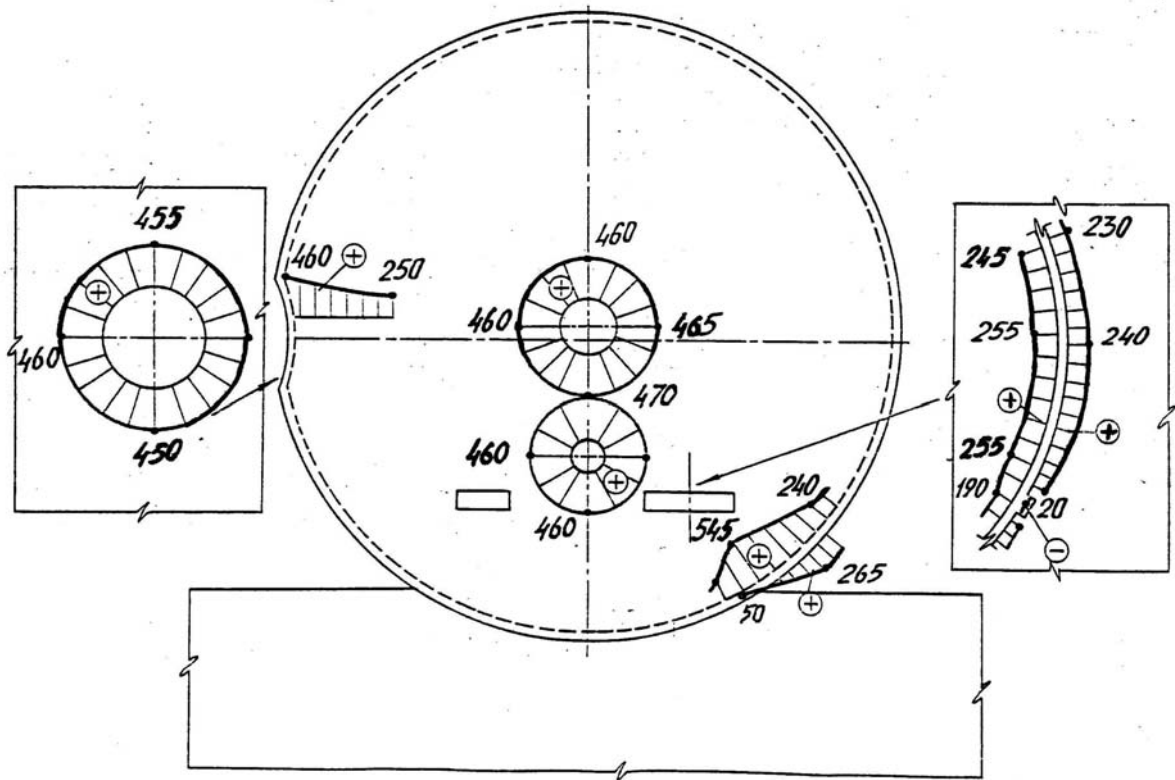


Рисунок 46 - Эпюры контурных напряжений (МПа) в сечениях тонкой сферической оболочки, нагруженной внутренним давлением 0,46 МПа

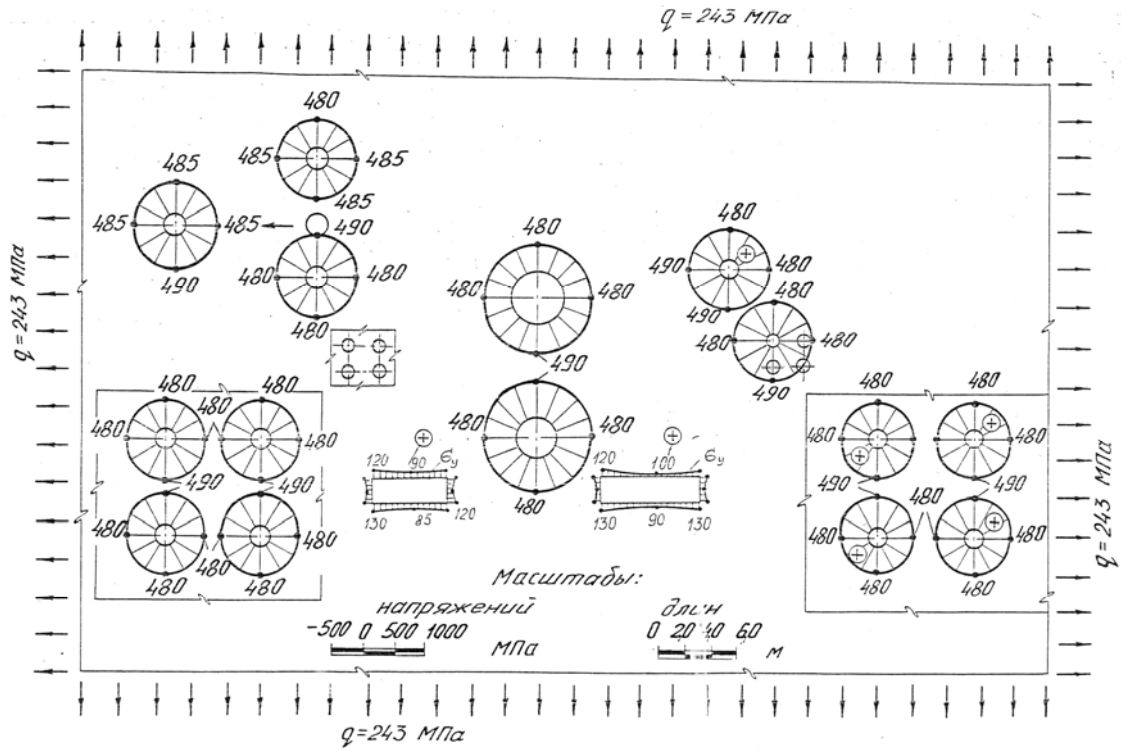


Рисунок 47 - Эпюры контурных напряжений вокруг отверстий-проходок без подкрепляющих накладок; Эпюры в накладках проходок.

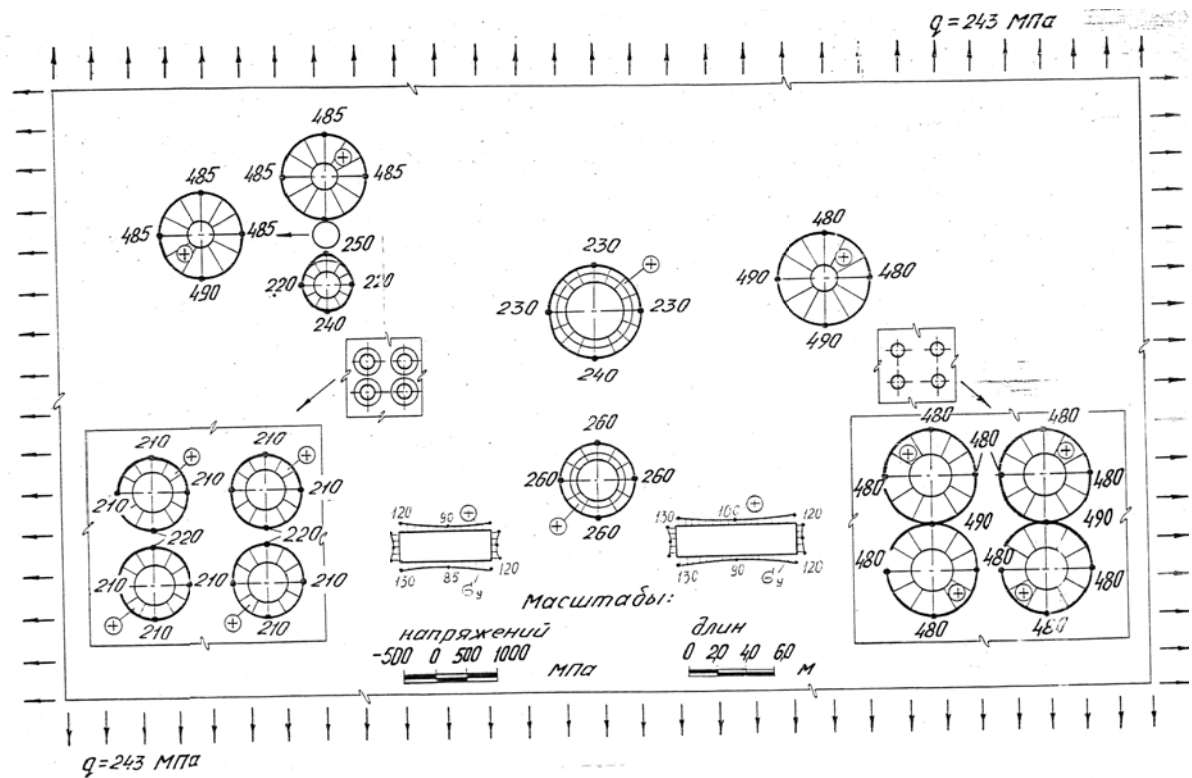


Рисунок 48 - Эпюры контурных напряжений вокруг отверстий-проходок с подкрепляющими накладками; Эпюры в накладках проходок.

Проведено исследование взаимного влияния отверстий на поле напряжений в тонкой сферической оболочке и выявлено минимальное расстояние между отверстиями, при котором отсутствует их взаимное влияние.

Докторантом Ижевского государственного технического университета Крутиковым В.А. было успешно проведено исследование процессов модификации минеральных вяжущих матриц углеродными наноструктурами

В данном исследовании использовался один из современных методов молекулярной динамики.

Первым этапом решения задачи в методе молекулярной задачи является задание начальных условий, включающих в себя координаты и скорости каждой частицы. Генерация начальных условий является отдельной и весьма нетривиальной задачей, так как начальное расположение частиц и их скорости существенно влияют на свойства полученного компьютерного материала. Задание начальных условий происходит на двух масштабных уровнях, которые условно можно назвать макро- и микроскопическим.

На макроскопическом уровне задается внешняя форма объектов моделирования и их макроскопические скорости. В нашем случае задается две группы атомов.

Первая (меньшая по своему числу) группа атомов задает углеродную наночастицу. Предусмотрена вариация формы, размера и скорости движения частицы относительно вещества. Начальное расположение атомов в частице в большинстве случаев соответствует ее кристаллическому строению без дислокаций. Важной характеристикой частицы является ее скорость движения, так как она моделирует регулируемый технологический показатель процесса. При расчетах используются различные частицы с распределением по размерам соответствующим распределению по размерам нанопоршка, применяемого в технологическом процессе. Вторая (большая по своему числу) группа атомов задает вяжущее вещество.

На микроуровне задается небольшое хаотичное отклонение атомов от положения равновесия и скорости хаотического движения (тепловое движение). Скорость каждой частицы в начальный момент времени складывается из макроскопической скорости, мало изменяющейся от частицы к частице, и случайной компоненты, получаемой при помощи генератора случайных чисел. Случайная компонента характеризуется девиацией скоростей заданным значением среднеквадратического отклонения скорости от ее среднего значения, определяющим интенсивность хаотического (теплого) движения.

Моделирование процесса взаимодействия напыляемой наночастицы с защищаемым веществом проводилось в рамках N-V-T ансамбля, где N – число атомов в «базовой» кубической частице объема V при температуре T при заданном потенциале взаимодействия $U(r)$. Взаимодействие частиц описывалось посредством потенциалов взаимодействия, основным свойством которых является отталкивание при сближении и притяжение при удалении.

Несомненное преимущество метода частиц по сравнению с методами, основанными на концепции сплошной среды, заключается в том, что он требует значительно меньше априорных предположений о свойствах материала. Действительно, использование только простейшего потенциала взаимодействия (например, типа Леннарда-Джонса) позволяет моделировать такие сложнейшие эффекты, как пластичность, образование трещин, разрушение, температурное изменение свойств материала, фазовые переходы и др. Для описания каждого из этих эффектов в рамках сплошной среды требуется отдельная теория, в то время как при моделировании методом частиц эти эффекты получаются автоматически, в результате интегрирования уравнений движения. В частности, необратимость механических процессов достигается за счет перехода механической энергии длинноволновых движений материала в тепловую энергию хаотического движения частиц.

В разработанном алгоритме модели было предусмотрено использование граничных условий моделирующих большие размеры защищаемой поверхности по сравнению с напыляемой на нее наночастицей.

Результатом вычислений производимых в методе молекулярной динамики являются траектории движения атомов, которые имеют самостоятельный интерес, так как они определяют результат взаимодействия наночастицы с защищаемой поверхностью. В алгоритме предусматривалось снятие через фиксированные промежутки времени серии «снимков» определяющих координаты атомов.

Анализ данных «снимков» позволил сделать вывод о характере взаимодействия напыляемой наночастицы с защищаемой поверхностью: останется ли наночастица связанной с поверхностью либо рассеется на ней, какие изменения произойдут в структуре кристаллической решетки защищаемой поверхности после ее взаимодействия с наночастицами и после возможного внедрения в нее наночастиц, а также результирующую нанокристаллическую структуру защищаемой поверхности.

Моделирование технологического процесса инъекции наночастиц на напыляемый металл включало в себя большое число расчетов соответствующих различным размерам, формам, скоростям и температурам наночастиц различной химической природы при их попадании на монокристалл, дислокацию или микротрещину.

Поэтому исследователем была разработана процедура для автоматического формирования всех этих исходных данных и задача исследований была успешно решена в сжатые сроки.

Исследования влияния ускорителей твердения на прочность арболита были выполнены аспирантом Брянской инженерно-технологической академии Чудаковой О.А..

В работе проводились испытания образцов древесно-цементных композиций на портландцементе М500 Д0 и опилках. Применялись добавки: кальций азотнокислый, кальций стеариновокислый и микрокремнезем. Кальций азотнокислый вводился с $1/3$ части воды затворения. Кальций стеариновокислый и микрокремнезем перемешивались с цементом, а затем вводились в смесь.

Для изучения влияния добавок на свойства древесно-цементных композиций использовался центральный композиционный ортогональный план полного факторного эксперимента.

Таблица 7 – Факторы полнофакторного эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
в натуральном виде	в варьированном виде	-1	0	+1	
Содержание ускорителя твердения кальция азотнокислого, %	X ₁	0	1	2	0,5
Содержание гидрофобизатора, %	X ₂	0	1	2	0,5
Содержание микрокремнезема, %	X ₃	0	20	40	10

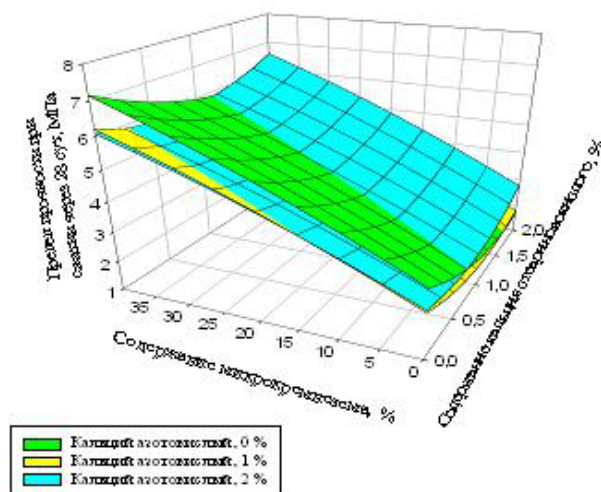
Таблица 8 – Матрица полнофакторного эксперимента

№ п.п.	Значения факторов						Функции отклика			
	В безразмерной системе координат			В натуральном масштабе			Y ₁ (R _{сж}), МПа	Y ₂ (B _м), %	Y ₃ (ρ _о), кг/м ³	Y ₄ (λ), Вт/м·°С
	X ₁	X ₂	X ₃	кальций азотно- кислый, %	кальций стеариново- кислый, %	микро- кремнезем, %				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

1	+1	+1	+1	2	2	40	6,2	66	769	0,335
2	+1	+1	-1	2	2	0	2,5	55	759	0,329
3	+1	-1	+1	2	0	40	5,7	76	780	0,342
4	+1	-1	-1	2	0	0	2,5	68	803	0,355
5	-1	+1	+1	0	2	40	5,7	69	782	0,343
6	-1	+1	-1	0	2	0	1,8	72	682	0,284
7	-1	-1	+1	0	0	40	7,2	76	766	0,333
8	-1	-1	-1	0	0	0	3,4	76	722	0,307
9	+1	0	0	2	1	20	5,0	85	752	0,325
10	-1	0	0	0	1	20	3,7	104	627	0,253
11	0	+1	0	1	2	20	4,5	79	740	0,318
12	0	-1	0	1	0	20	4,7	74	751	0,324
13	0	0	+1	1	1	40	5,7	72	784	0,344
14	0	0	-1	1	1	0	1,0	68	628	0,253
15	0	0	0	1	1	20	3,9	79	680	0,283

Анализ приведенных графиков функции отклика предела прочности при сжатии позволяет утверждать, что при использовании микрокремнезема (другие добавки не используются) прочность в среднем возрастает на 97 %, по сравнению с контрольными образцами. Максимальная прочность достигается при содержании микрокремнезема в количестве 40 % (от массы цемента), но при этом также увеличиваются средняя плотность (на 6 %) и коэффициент теплопроводности (на 8,5 %). Водопоглощение при этом повышается 36 %.

Введение в состав композиции гидрофобизирующей добавки (кальция стеариновоксислого) позволяет добиться снижения водопоглощения в среднем на 27,6 % (по сравнению с контрольными образцами).



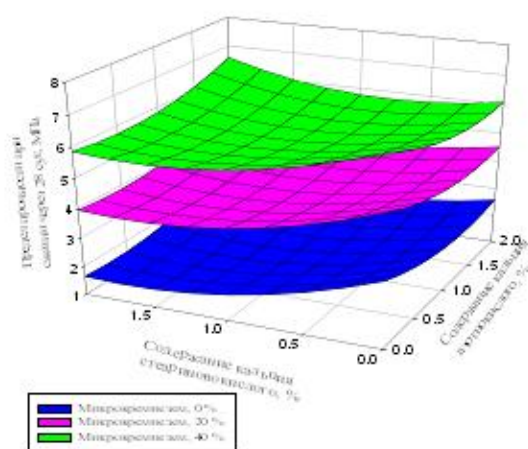
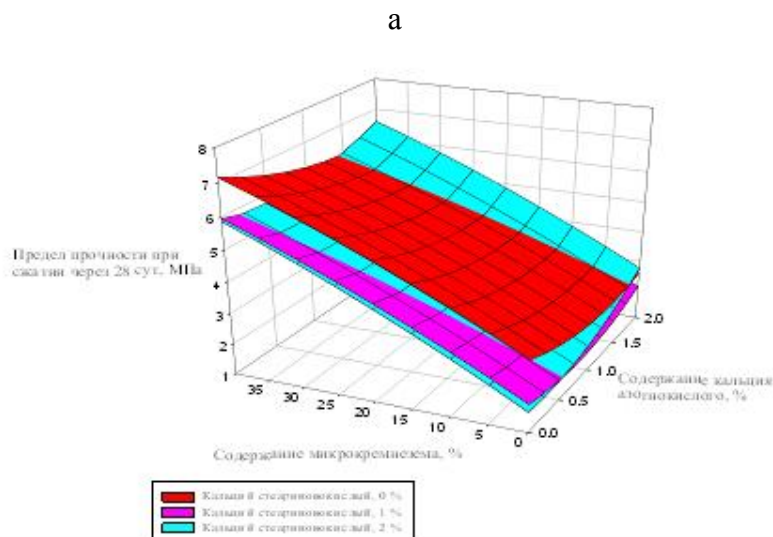


Рисунок 49 – Функции отклика предела прочности при сжатии через 28 суток твердения при содержании: а - азотнокислого кальция 0 %, 1 %, 2%; б – стеариновокислого кальция 0 %, 1 %, 2%; в – микрокремнезема 0 %, 20 %, 40 %

Но при этом предел прочности при сжатии составляет 1,8 МПа, что ниже результатов контрольных образцов почти в 2 раза. Средняя плотность снижается на 5,5 %, а коэффициент теплопроводности 7,5 %. Кроме этого, при введении в состав композиции кроме стеариновокислого кальция 20 % микрокремнезема, наблюдается рост водопоглощения.

При введении азотнокислого кальция в состав древесно-цементной композиции наблюдается снижение предела прочности при сжатии на 26,5 %, водопоглощение снижается на 10,5 %, средняя плотность увеличивается на 11 %, а коэффициент теплопроводности на 15,6 %.

Оптимальные значения предела прочности при сжатии и водопоглощения происходит при введении всех трех добавок: микрокремнезема (40%), кальция азотнокислого (2 %), кальция стеариновокислого (2 %).

Оптимальные значения средней плотности и коэффициента теплопроводности наблюдаются при использовании кальция азотнокислого (1%) и кальция стеариновокислого (1 %).

Доцентом Волгоградского филиала академии труда и социальных отношений Поповым П.В. были выполнены исследования кинетических параметров хрупкого разрушения бетона

По теме исследований была дана оценка влияния вида напряженного состояния и скорости нагружения на прочность бетона при одноосном и двухосном сжатии.

Таблица 9. Прочность бетона и коэффициент динамического упрочнения при одноосном сжатии

Номер образца	Прочность R_{ib} ($R_{ib,d}$), МПа	Среднее значение прочности R_b ($R_{b,d}$), МПа	Коэффициент вариации V , %	Коэффициент динамического упрочнения $k_{b,v}$
Статические испытания				1,17
О2	20,24	20,41	1,8	
О4	20,06			
О8	20,93			
Динамические испытания * ($\sigma \approx 470$ МПа/с, $\tau \approx 0,08$ с)				
О15	22,80	23,97	3,4	
О26	25,10			
О33	24,00			

Некоторые результаты статических и динамических испытаний при двухосном сжатии по каждому образцу приведены в таблице 10. Графически результаты экспериментов представлены на рис. 50.

Таблица 10

Номер образца	Уровень напряжения σ_2 (σ_2/R_b)	Прочность $R^{\sigma_2}_{ib}(R^{\sigma_2}_{ib,d})$, МПа	Среднее значение прочности $R_b^{\sigma_2}(R_{b,d}^{\sigma_2})$, МПа	Коэффициент вариации V , %
1	2	3	4	5
Статические испытания				
О9	0,2	26,98	26,57	1,2
О19		26,24		
О20		26,50		
О12	0,4	26,50	27,34	3,1
О29		28,17		
О1	0,6	29,39	28,98	1,4
О32		28,57		
Динамические испытания (* $\sigma \approx 470$ МПа/с, $\tau \approx 0,08$ с)				
О5	0,2	32,02	30,89	2,6
О10		30,23		
О28		30,42		
О11	0,4	35,30	33,97	3,0
О27		32,80		
О30		33,80		
О14	0,6	34,68	35,04	1,0
О31		35,40		

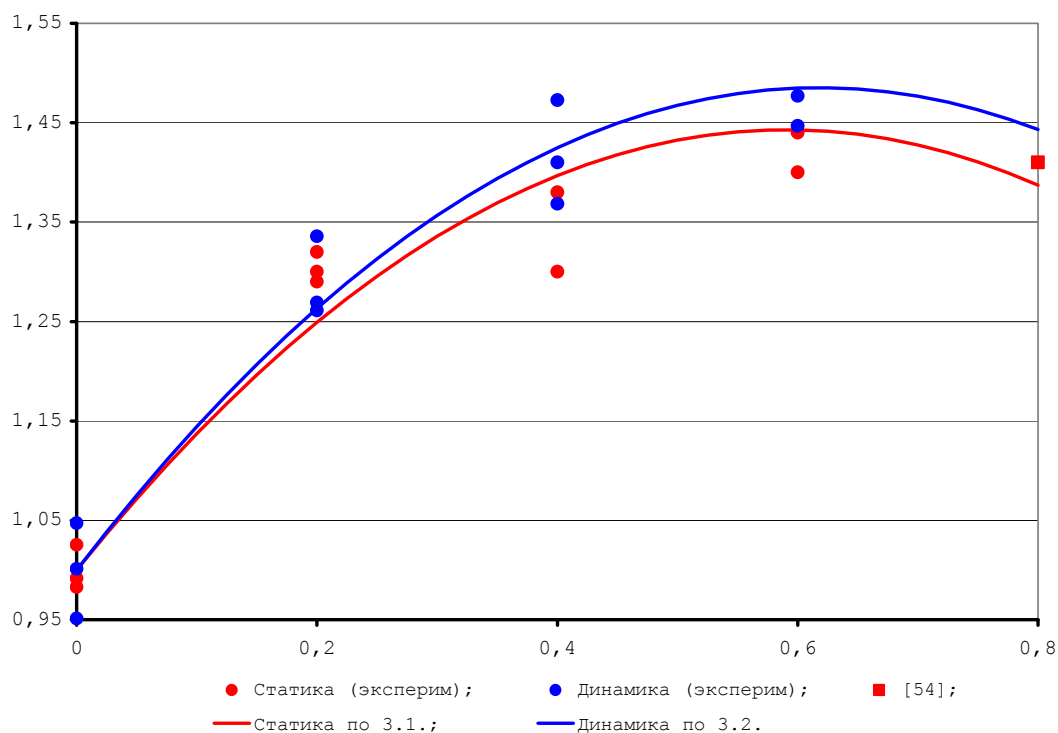


Рисунок 50 - Влияние вида напряженного состояния, уровня напряжения σ_2 и скорости нагружения на прочность бетона.

Наряду с этим было изучено влияние вида напряженного состояния, уровня напряжения σ_2 и скорости роста напряжений на прочность бетона.

Проведен анализ влияния способа приложения напряжения σ_2 на величину «действительной» прочности бетона при статическом и динамическом нагружении. В экспериментах при статическом нагружении момент разрушения определялся по наступлению момента лавинообразного, неустойчивого деформирования, который фиксировался по показаниям датчиков деформаций, отображаемых в течение всего времени нагружения на мониторе ЭВМ.

При динамическом нагружении определение значений нагрузки и деформаций образца с высокой степенью дискретности по времени также позволило провести детальный анализ момента разрушения.

Было подтверждено, что момент образования поверхности разрушения и видимое разрушение образца при двухосном сжатии при динамическом испытании, так же как и при статическом, может не совпадать, и результат определения прочности также может зависеть от методики определения «достоверного» момента разрушения и соответствующих ему значений напряжений в образце. Особенности динамического нагружения, осуществляемого на установках, подобных используемой в настоящем исследовании, и основанного на свободном перемещении домкрата за деформируемым

образцом за счет энергии свободно падающего груза, позволило получить численно одинаковые значения напряжений для этих двух этапов разрушения образца. В тоже время, можно предположить различие этих напряжений при использовании испытательных установок, обеспечивающих строгое постоянство скорости роста напряжений или деформаций, путем их автоматического регулирования в процессе нагружения.

Таким образом, основываясь на анализе момента разрушения были зафиксированы «достоверные» значения прочности и отмечалось упрочняющее действие двухосного сжатия.

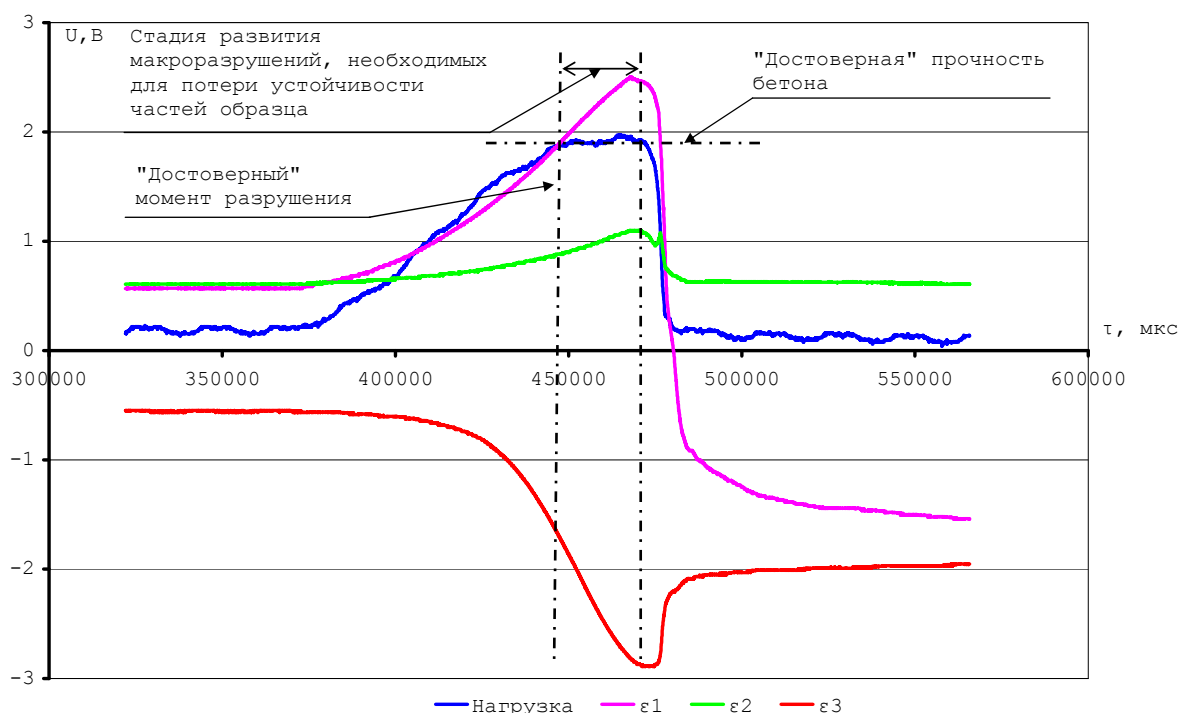


Рисунок 51 - К оценке "достоверной" прочности бетона при двухосном сжатии.

Аспирантом Ижевского государственного технического университета Маевой И.С. были выполнены тонкие исследования влияния формы полости на концентрацию напряжений в теле элементов строительных конструкций

В данной работе напряженное состояние составных конструкций в зоне концентрации напряжений при действии разрывных вынужденных деформаций рассматривалось на плоских моделях с угловым вырезом. Исследования напряженного состояния в области концентрации напряжений проводились с использованием метода фотоупругости.

Цифровая обработка данных эксперимента позволила фрагментировать картины

полос и изоклин с малым параметром изменения, что расширяет возможности метода фотоупругости.

Упругая задача при действии температурных деформаций решалась с использованием свойства "размораживания" свободных температурных деформаций. Экспериментально полученное упругое решение анализировалось в окрестности вершины выреза в зависимости от угла раствора модели, т. е. от формы границы области.

Толщина моделей была одинакова и равна $t = 3$ мм.

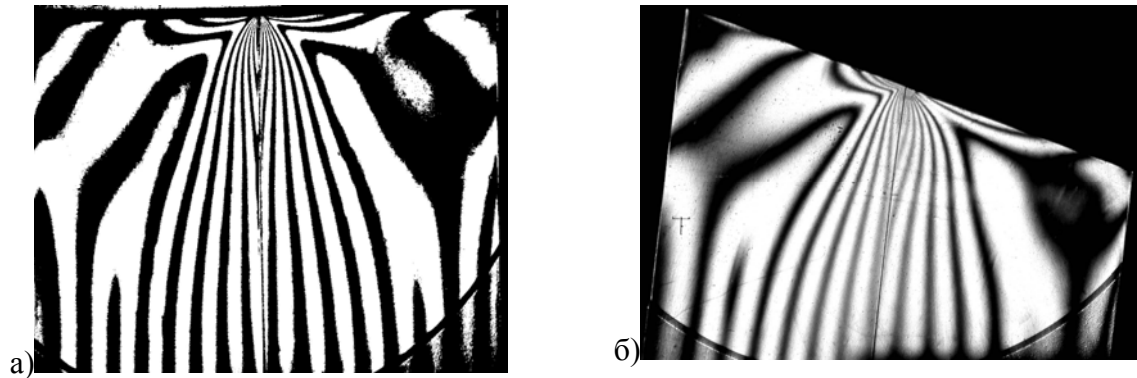
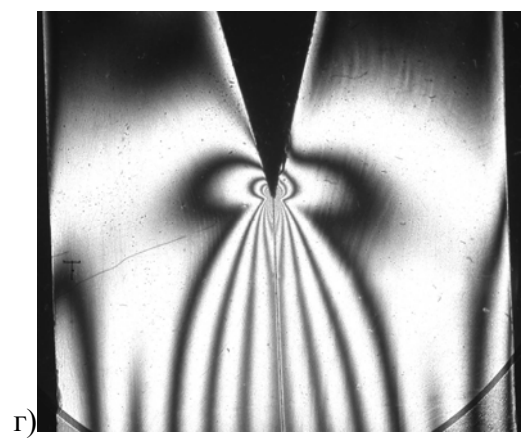
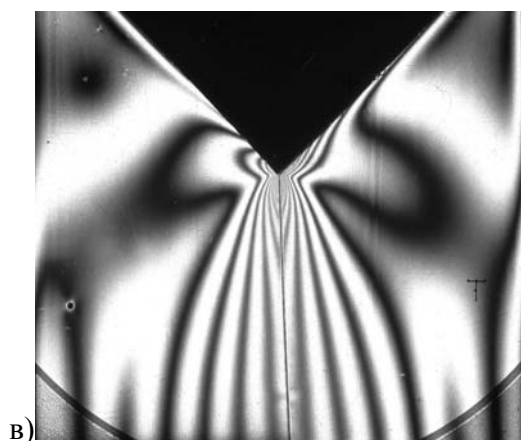


Рисунок 52 - Картины полос в моделях толщиной $t = 3$ мм для различных случаев раствора торца модели:

а) $2\alpha = 180^\circ$; б) $\alpha + \beta = 180^\circ$; $\alpha = 105^\circ$; $\beta = 75^\circ$;



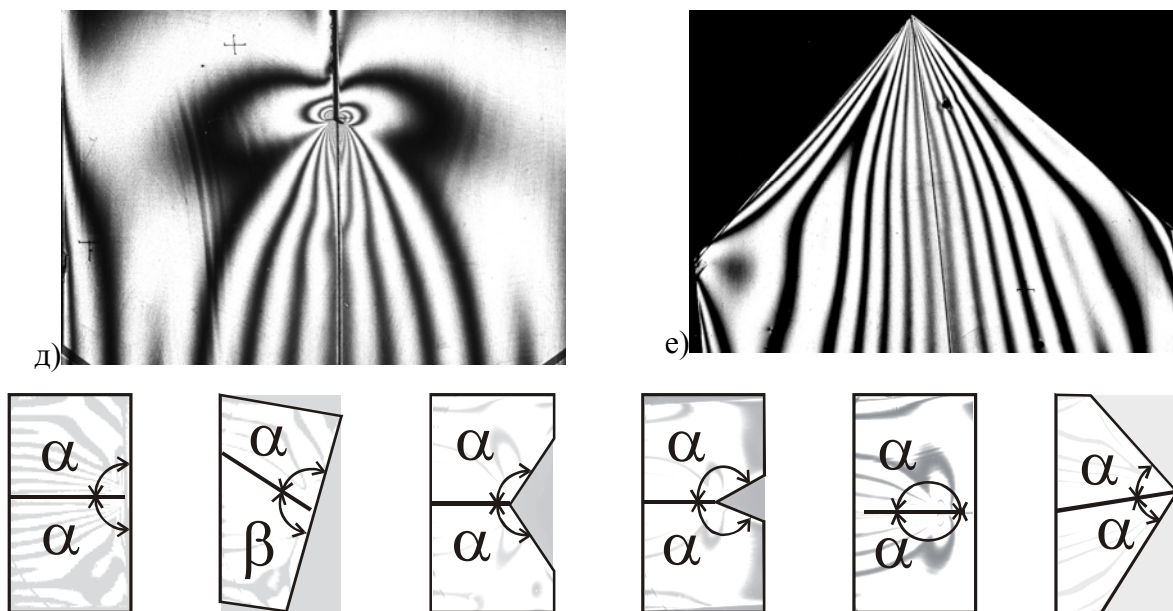


Рисунок 52 - Картины полос в моделях толщиной $t = 3$ мм
для различных случаев раствора торца модели:

в) $2\alpha = 270^0$; г) $2\alpha = 330^0$; д) $2\alpha \cong 360^0$ – узкий вырез-щель; е) $2\alpha = 90^0$

Экспериментальное решение задачи с вынужденными (температурными) деформациями для модели с прямым торцом приведено на рис. 53 и на рис.54.

Выбирая различные фрагменты области модели, графическим методом были построены картины изостат в целом в области торца модели (рис.53), так и картины изостат в области, прилегающей к зоне концентрации напряжений (рис.54).

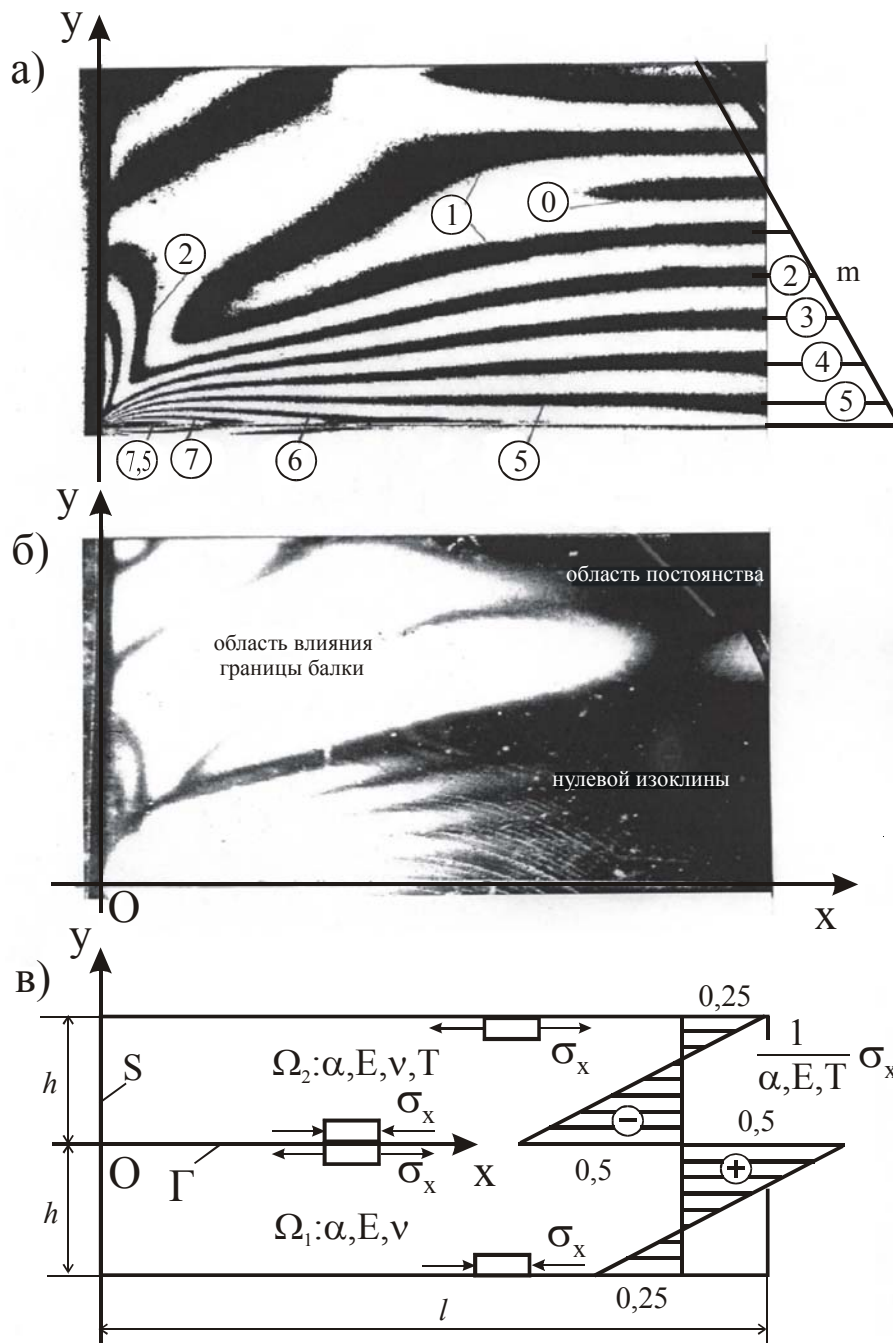


Рисунок 53 - Исходные данные для модели с прямым торцом:
 а) картина полос; б) картина полос с нулевой изоклиной; в) схема задачи

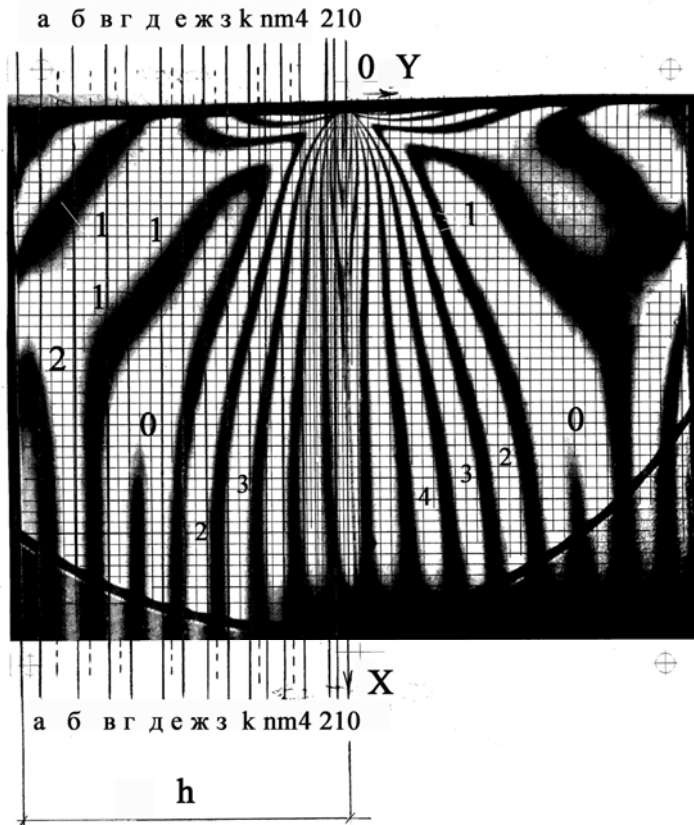


Рисунок 54 - Схема сечений метода касательных напряжений
в области Ω_2 прямого торца (№ 1) модели

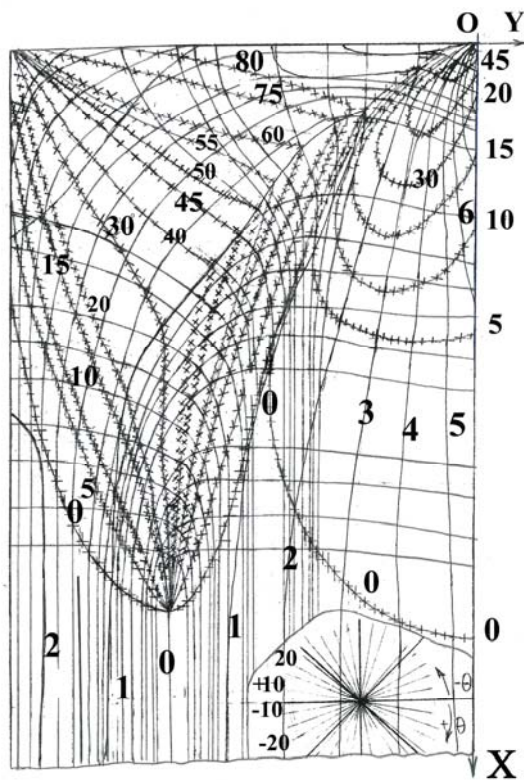


Рисунок 55 - Совмещенная картина
изохром, изоклин θ через 5^0 и изостат
 σ_1 и σ_2 в области Ω_2 прямого торца
(№1) модели.

а)



б)

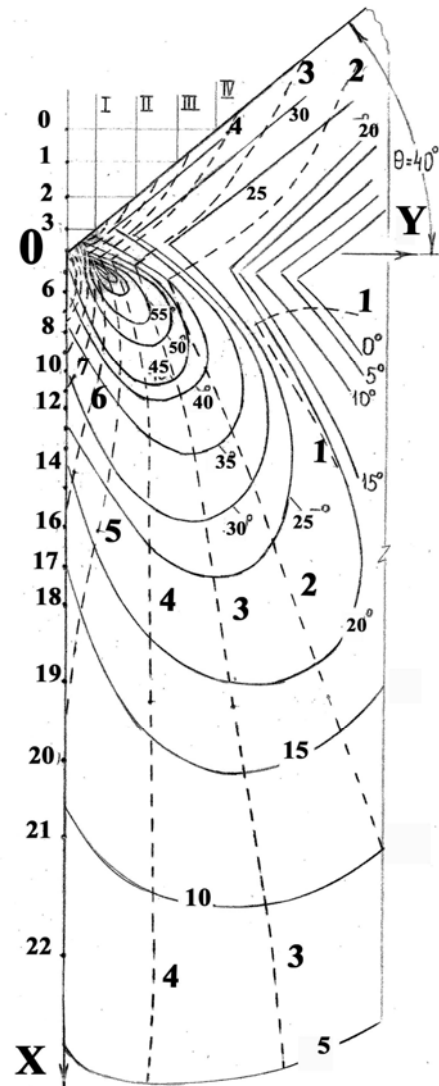


Рисунок 56 - Исходные данные для фрагмента области торца (№ 4) модели:

а) картина изохром;

б) совмещенная картина изохром и изоклин θ через 5^0
фрагмента области торца (№ 4) модели

Исследования влияния циклических нагрузок на характеристики радиационно-защитных бетонов были выполнены аспирантом Пензенского государственного университета архитектуры и строительства Костиным Д.С.

Степень влияния циклических нагрузок существенно зависит, в том числе, от вида и свойств заполнителей, которые занимают порядка 80% объёма бетона. Они формируют жёсткий скелет, который связывается с помощью вяжущего вещества в искусственную

породу. Вид и свойства заполнителей, крупность, форма и состояние поверхности их зёрен, гранулометрический состав оказывают влияние на формирующуюся в процессе схватывания и твердения структуру бетона, обуславливающую его строительные-технические характеристики и эксплуатационную стойкость.

Водоцементное отношение (В/Ц), а также размеры и форма заполнителей существенно влияют на сплошность контакта цементного теста и камня с поверхностью крупного заполнителя.

При повышенных значениях В/Ц за счёт водоотделения при виброуплотнении, седиментации цемента и последующей контракции под зерном крупного заполнителя образуются пустоты и ослабленные зоны с пониженной объёмной концентрацией как исходного цемента, так и гидратных новообразований, возникающих при последующем твердении.

Статическая прочность бетона зависит также от прочности заполнителя. На рис. 57 показана зависимость прочности бетонов, приготовленных на растворах прочностью свыше 20 МПа, от В/Ц.

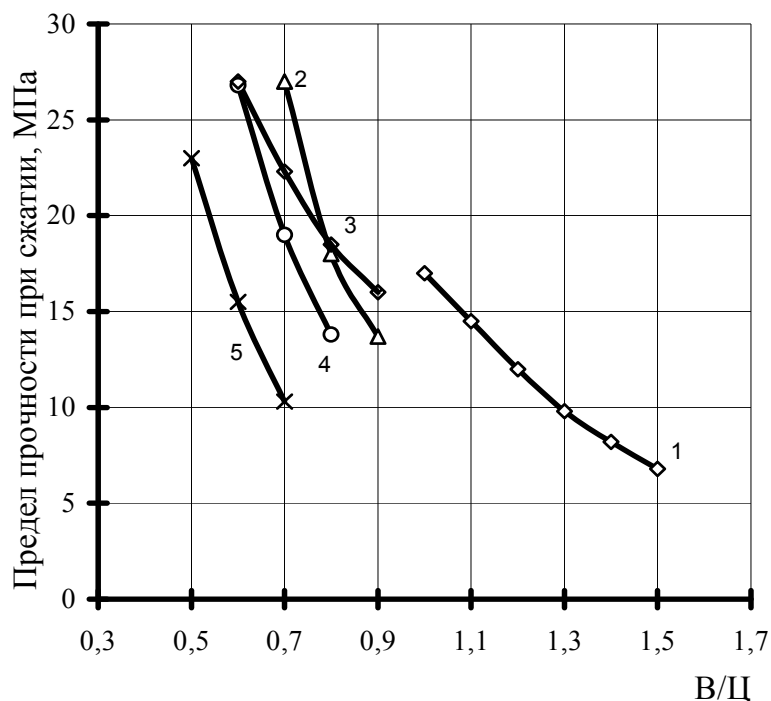


Рисунок 57 – Зависимость прочности бетона на разных заполнителях от В/Ц:

1 – барит; 2 – магнетит; 3 – чугунный скрап; 4 – кварцевый песок;

5 – лимонит

Образующийся при этом мелкозернистый заполнитель обладает вполне удовлетворительными механическими свойствами и может быть использован для изготовления баритового бетона. Довольно значительное водопоглощение баритовой

породы (5...7%) и большое количество пыли способствуют тому, что для затворения смеси при производстве баритового бетона расходуется значительное количество воды ($V/C > 1$).

Исследование влияния высоких доз γ -излучения $(0,51...1,73) \cdot 10^7$ Гр на меламиновые и нафталиновые суперпластификаторы и бетоны, полученные с их применением, показало, что облучение ускоряет процесс полимеризации олигомеров (смола), причём эффект её ускорения для водных растворов добавок значительно больше, чем для порошкообразных. Внешний вид и циклическая прочность образцов в процессе облучения не изменялись.

Аспирантом Воронежского государственного архитектурно-строительного университета Степановой М.П. были выполнены исследования нанохимических процессов при производстве твердофазных строительных материалов

Традиционными прекурсорами (источниками) SiO_2 в процессах ЗГС выступают тетраалкоксисиланы, в первую очередь – тетраэтоксисилан (ТЭОС) $Si(OC_2H_5)_4$ и тетраметоксисилан (ТМОС) $Si(OCH_3)_4$. Такой, алкоксидный вариант ЗГС основан на контролируемом гидролизе ТЭОС или ТМОС, как правило, путем добавления необходимого количества воды к спиртовому раствору алкоксида. Одновременно с алкоксидным вариантом ЗГС развивались и другие схемы, в частности, основанные на использовании водных растворов прекурсоров кремнезема и других оксидов. Общими преимуществами таких схем перед алкоксидной являются: а) относительная дешевизна прекурсоров; б) большая экологическая безопасность (отсутствие в процессе органических растворителей); в) меньшая чувствительность хода синтеза к влажности воздуха и реагентов.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	M											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

Рисунок 58 - Элементы, вводимые в растворы щелочных силикатов и аминосиликатов в форме гидроксидов или нитратов (сплошная заливка), солей аммониевых оснований (диагонально-штриховая заливка) и аминоккомплексов (вертикально-штриховая заливка)

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	M	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

Рисунок 59 - Элементы, вводимые в растворы щелочных силикатов и аминосиликатов в форме элементарных соединений (диагонально-штриховая заливка) и цитратных или ЭДТА комплексов (вертикально-штриховая заливка)

В ходе получения утеплителей на основе жидкого стекла и композиций с ним обязательной стадией является сушка, а при получении материалов горячего вспенивания - термическая дегидратация.

Оба эти процесса, учитывая степень заполимеризованности жидкого стекла и безводных силикатов щелочных металлов, должны быть сопряжены с поликонденсацией ККА. И действительно, как было показано с помощью молибдатного метода, в ходе сушки натриевого жидкого стекла (массовая концентрация 41,7%, молярный модуль 2,9) средняя основность ККА последовательно уменьшается с 0,94 до 0,78 (гидрогель с 38%-ной влажностью), а затем, по мере сушки гидрогеля, до 0,34 (безводное стекло), причем наиболее резкое уменьшение величины x наблюдается в интервале водосодержания 28—38% и 12—20% (рис. 60).

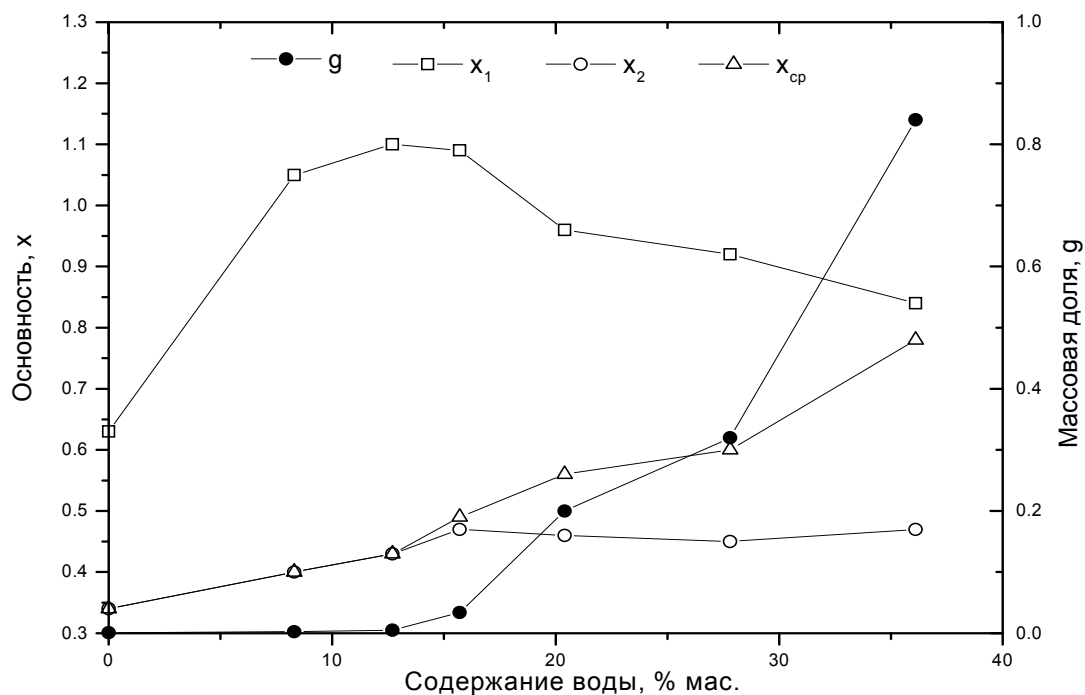


Рисунок 60 - Зависимость массовой доли g кислоторастворимого кремнезема, а также средней основности x_{cp} ККА в натрий-силикатном гидрогеле модуля 2,9, в его кислоторастворимой (x_1) и кислотонерастворимой (x_2) фракциях от водосодержания

В последние годы растет интерес к возможности замены органополимерных утеплителей неорганическими пеноматериалами, сочетающими низкую теплопроводность с термостойкостью и негорючестью. Среди последних, наиболее перспективными представляются щелочно-силикатные пеноматериалы (ЩСПМ), получаемые путем термического или холодного вспенивания жидкого стекла или щелочно-силикатных гидрогелей.

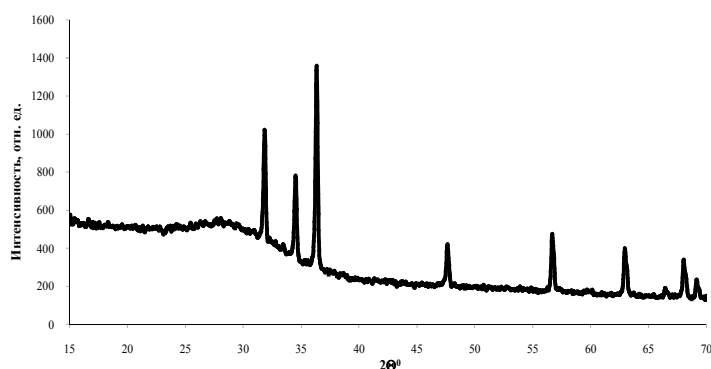


Рисунок 61 - Рентгенограмма гидрогеля $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2 - \text{ZnO} - \text{H}_2\text{O}$ (исходное содержание ZnO 10%, воды 52,6%) после термообработки при 60°C

Анализ кривых подтверждает гипотезу исследователей о значительной роли концентрации воды в кинетике и равновесии растворения ZnO в натрий-силикатном гидрогеле. Видно, что при нагревании в закрытом контейнере, без потери воды, растворение при 40%-ной влажности геля происходит практически полностью – более чем на 90%, в том числе на 85% за первый час нагревания.

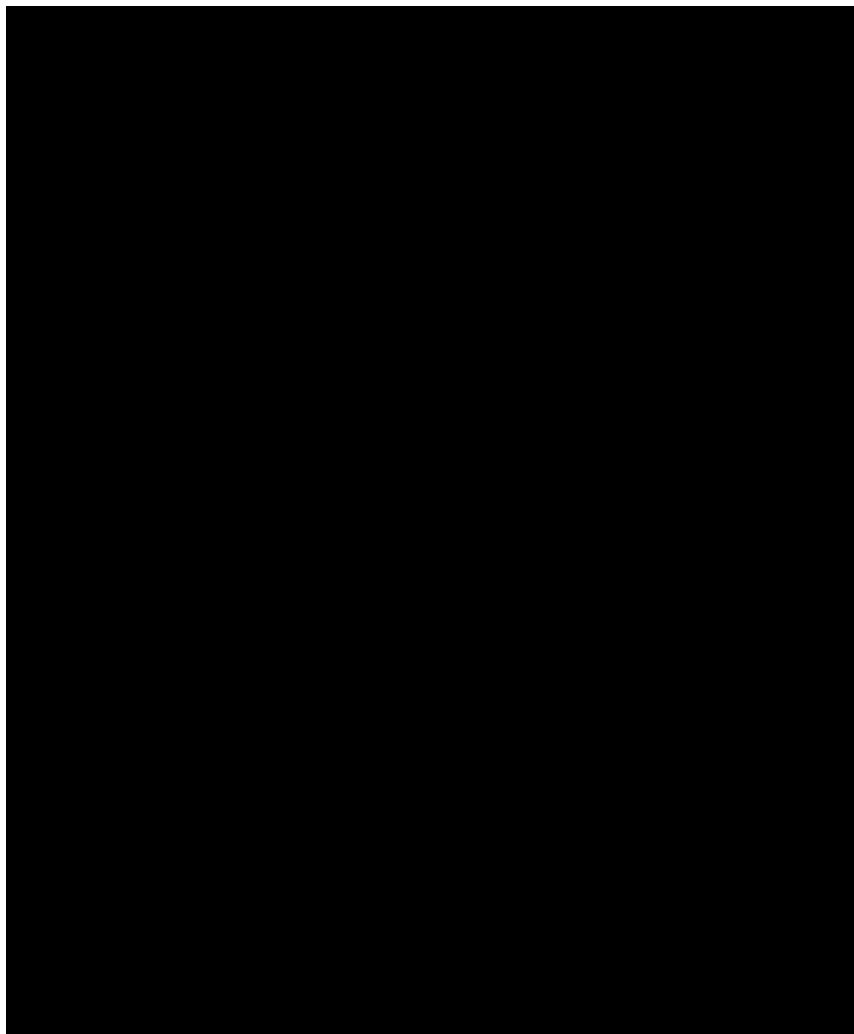


Рисунок 62 - Остаток свободного оксида цинка после выдержки при 125°C

при трех различных содержаниях воды:

- 1 –52,6 % (закрытый контейнер); 2 –25,8 % (закрытый контейнер)
3 –37,2 % (закрытый контейнер); 4 –40,0 % (открытый контейнер)

В то же время, термообработка на открытом воздухе, при пониженной концентрации гелевой воды, приводит за тот же срок к растворению всего половины ZnO, причем почти все это количество растворяется уже в первые полчаса. Достаточным временем термообработки, судя по полученным результатам, является 2-часовое нагревание. Одновременно найдено, что большие и меньшие величины влажности гидрогеля неблагоприятно сказываются на эффективности процесса: первые – из-за усиления гидролиза цинкат-аниона, вторые – из-за диффузионных затруднений.

Сформулированная гипотеза относительно механизма растворения ZnO в гидрогеле подтверждаются результатами ИК-спектроскопических исследований (рис. 62). На всех представленных спектрограммах хорошо просматривается полоса поглощения в области 620-640 см⁻¹, связанная с валентными колебаниями цинк-кислородных тетраэдров, что свидетельствует об успешном инкорпорировании атомов цинка в силикатную матрицу.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о возможности получения цинксодержащего гидрогеля путем 1-2-часового взаимодействия при 120-130°C оксида цинка с натрий-силикатным гидрогелем с содержанием воды около 40% в автоклаве или же, при условии достаточно большой массы гидрогеля, при атмосферном давлении (потерями воды из-за испарения в поверхностном слое можно пренебречь, либо их можно скорректировать осторожным добавлением кипящей воды).

Для сравнения, в той же таблице представлены соответствующие параметры для кальций-натрий-силикатного гидрогеля с тем же отношением Ca/Si, что и Zn/Si в цинксодержащем гидрогеле. Как известно, ион кальция выступает в качестве классического модификатора щелочно-силикатных стекол, в отличие от иона цинка, способного к исполнению роли стеклообразователя. И действительно, в кальций-содержащем гидрогеле наблюдается значительное диспропорционирование полимеризованных силикатных структур: средняя величина основности ККА слегка повышается (за счет олигомерной фракции), но резко, более, чем вдвое, снижается основность высокополимерной фракции, что приводит к уменьшению вспучиваемости гидрогеля.

Данные о водостойкости (потеря массы после 5-минутного кипячения в дистиллированной воды) цинк- и кальций-содержащих пеностекол, полученных из соответствующих гидрогелей представлены в таблицах 12 и 13. Полученные результаты находятся в хорошем соответствии с данными о полимерной структуре ККА и подтверждают предположение о высокой водоупрочняющей активности в гидротермальных условиях оксида цинка в отношении натрий-силикатного гидрогеля, в противоположность оксиду кальция. Подтверждается также оптимальное для инкорпорации цинка содержание воды в гидрогеле (40%).

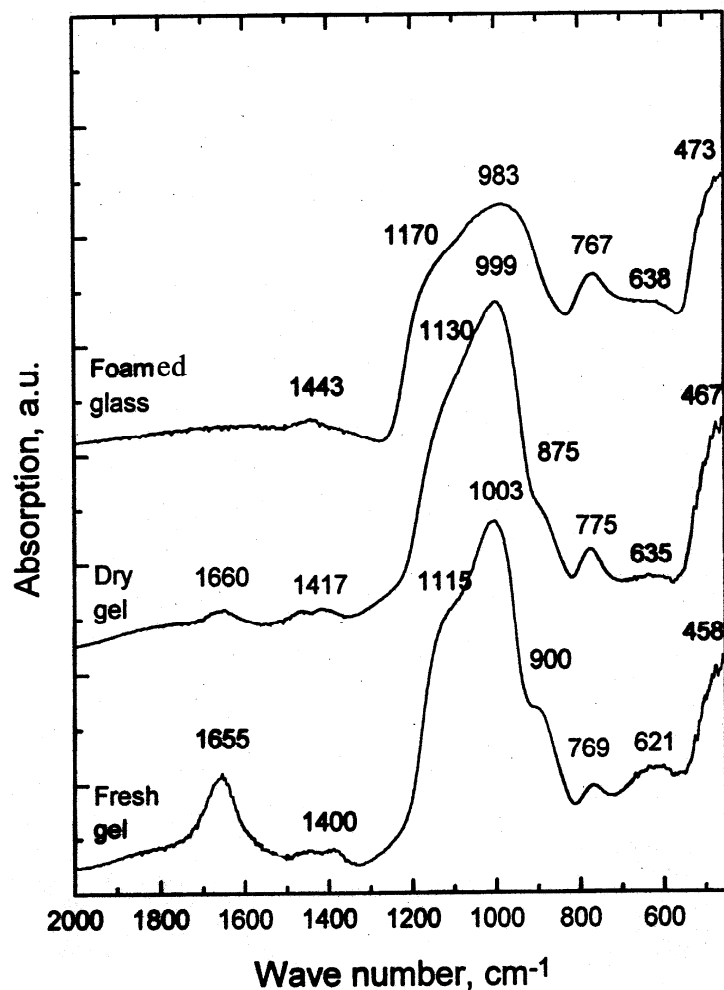


Рисунок 63 - ИК-спектры натрий-цинк-силикатных гидрогелей и стекла.

Начальное содержание воды – 40%.

Fresh gel – гидрогель, высушенный на воздухе до постоянной массы,

Dry gel – высушенный гель, прогретый 2 часа при 120,

Foamed gel – гидрогель, вспененный при 550°C в течение 2 минут.

Таблица 11. Параметры ММР ККА для Zn- и Ca-содержащих натриево-силикатных гидрогелей. $\square(\text{SiO}_2) / \nu(\text{Na}_2\text{O}) = 3,1$; $\nu(\text{SiO}_2) / \nu(\text{ZnO}, \text{CaO}) = 5,9$

Параметры ММР ККА	ЖС + ZnO	ЖС + ZnO, после термообработки	ЖС + CaO, после термообработки
g_1	0,045	0	0
g_2	0	0,055	0
g_3	0,328	0,296	0,844
x_3	1,11	1,12	1,17

g ₄	0,627	0,649	0,156
x ₄	0,85	0,75	0,40
X	0,99	0,90	1,05

g_i – статистические веса и x_i – средние основности мономерной (1), димерной (2), олигомерной (3) и полимерной (4) фракций, X – средняя основность ККА в образце.

Таблица 12. Водостойкость Zn- и Ca-содержащих натрий-силикатных пеностекол.

$$v(\text{SiO}_2) / v(\text{Na}_2\text{O}) = 3,1 ; v(\text{SiO}_2) / v(\text{ZnO}, \text{CaO}) = 5,9$$

Начальное содержание воды в гидрогеле, мас. %	Модифицирующий ион	Кажущаяся плотность, мг/см ³	Потеря массы после 5-минутного кипячения, %
52,6	Zn	64	6,4
40	Zn	52	0,3
25,8	Zn	119	43,2
40	Ca	193	13,7

Таблица 13. Параметры вспененных натрий-алюмосиликатных гранул в зависимости от исходного состава смеси и параметров смешения

Параметры состава			Темп-ра смешения, °С	Объемная масса (мг/см ³)	Водостойкость	
[Al ₂ O ₃]/[SiO ₂]	[Na ₂ O]/[SiO ₂]	В/Т			Абсолютная (Н, %)	Эффективная (χ, мг/см ³)
0,13	0,49	1,22	20	53	5.0	2.6
0,16	0,53	1,32	45	64	2.0	1.3
0,13	0,58	1,22	20	46	10	4.6
0,16	0,575	1,27	45	48	2.4	1.2
0,145	0,60	1,22	20	58	8.0	4.6
0,13	0,535	1,275	20	45	5.9	2.7
0,145	0,510	1,325	20	79	2.5	2.0

0,145	0,555	1,22	20	42	6.7	2.8
0,16	0,62	1,54	45	48	9.1	4.4

При действии соляной кислоты на такую структуру происходит выщелачивание натрия и алюминия в виде соответствующих хлоридов и в раствор переходит линейная молекула трикремневой кислоты $H_8Si_3O_{10}$, что полностью согласуется с данными МА.

Полученные результаты доказывают, что механизм повышения водостойкости щелочносиликатных пеноматериалов, модифицированных добавками алюминия, заключается во вхождении катионов алюминия в кремнекислородную структуру на стадии смешения ингредиентов – растворов силиката натрия и алюмината натрия - и низкотемпературной сушки. В ходе дальнейшей термообработки бисера происходит перестройка структуры материала с образованием гомогенного безводного стекла, в котором все или почти все атомы алюминия располагаются в центрах кислородных тетраэдров, замещая часть атомов кремния в силикатной структуре.

Примером ЩСПМ горячего вспенивания с гомогенным введением алюмината натрия в качестве ВУД может служить Бисипор, производимый владимирской фирмой «Группа Кварц».

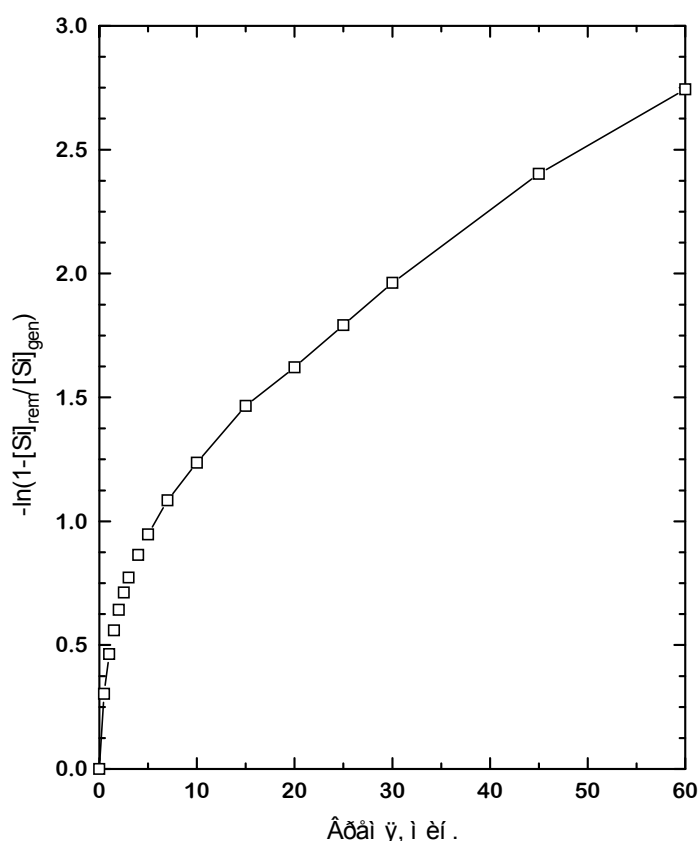


Рисунок 64 - Кинетическая кривая реакции бисера, растворенного в HCl, с молибденовой кислотой.

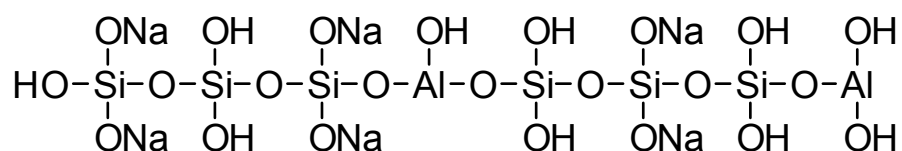


Рисунок 65 - Возможный гидроалюмосиликатный элемент химической структуры натрий-алюмосиликатного гидрогеля

По сравнению с другими модифицированными щелочно-силикатными пеноматериалами, Бисипор обладает повышенной паростойкостью, выдерживая до 100 час. пропаривания, что позволяет использовать его в качестве заполнителя в легких бетонах (монолитный бисипоробетон получается с прочностью на сжатие 0,5-10 МПа).

Заключение

Рассматривая в целом результаты исследований молодых ученых под руководством ведущих ученых РААСН, МГСУ и других строительных вузов России следует, что большая часть исследований была связана с решением актуальных задач применения нанотехнологий в строительном материаловедении. При этом было установлено, что высокие значения удельной поверхностной энергии наноструктур создают одновременно и большие проблемы вследствие мощного когезионного взаимодействия, в результате которого ультрадисперсные наносистемы образуют довольно крупные агломераты и для введения наноматериалов в различные строительные композиты требуется разработка специальных тончайших технологий.

Вместе с тем, наряду с проблемами в сфере строительных нанотехнологий, в РААСН есть серьезные достижения, технологическая база, высококвалифицированные кадры и подрастающий резерв молодых ученых. Эти преимущества надо объединять и наращивать, в рамках междисциплинарного научного проекта РААСН и МГСУ, поскольку масштабное развитие нанотехнологий в любом государстве и в любой отрасли, в том числе в строительной, может происходить только на междисциплинарной основе. Развитие такого проекта в сфере строительных нанотехнологий даст нам реальный шанс вывести Россию на ведущие позиции в этой области.