

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 №11.5.2.2. *«Энергосберегающие технологии,
конструкции и системы в строительстве и эксплуатации зданий и
сооружений. Динамические испытания несущих элементов
ограждений»*

(научно-образовательный материал)

Научный руководитель подраздела	Профессор, г.н.с.			Шаблинский Г.Э.
	Должность	Телефон	Подпись Дата	ФИО
Заместитель научного руководителя подраздела	Инженер, аспирант			Исаев Р.З.
	Должность	Телефон	Подпись Дата	ФИО

Москва, 2009 г.

Под научным руководством и при непосредственном участии профессора каф. Сопротивления материалов, главного научного сотрудника НИИЭМ МГСУ, профессора Шаблинского Г.Э. (отв.исп. аспирант Исаев Р.З.) в рамках подраздела 11.5.2.2. были составлены, коллегиально рассмотрены и протестированы, а также вручены для практического использования заинтересованным специалистам строительного комплекса Москвы научно-образовательные материалы в области энергосберегающих технологий, конструкций и систем в строительстве и эксплуатации зданий и сооружений на основе материалов исследований ведущих специалистов МГСУ и других организаций в данной области.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Региональное нормирование энергосбережения в зданиях	5
2. Рациональные тепловые пункты	8
3. Тепловой насос для городского жилого дома	9
4. Местная вентиляция помещений с помощью аппаратов ТеФо (теплая форточка)	9
5. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий	10
6. Проведение аналитического обзора в области конструктивных решений и видов энергосберегающих систем термоизоляции зданий	19
6.1. Описание известных фасадных систем	19
6.2. Конструктивные решения	24
6.3. Распространенность основных фасадных систем	29
7. Изучение возможности применения известных методик для оценки климатических воздействий на энергосберегающие системы термоизоляции зданий	35
8. Разработка принципов создания эффективных энергосберегающих систем термоизоляции зданий	37
9. Определение и анализ показателей энергетической эффективности и теплотехнических показателей конструкций зданий при различных температурно-влажностных режимах	43
10. Интеллектуальные системы освещения	56
11. Анализ экспериментально-теоретических исследований кинетических параметров разрушения несущего слоя бетона стенового ограждения при однократном статическом и динамическом нагружении в условиях различных видов напряженных состояний	57

Введение

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.

1. Региональное нормирование энергосбережения в зданиях

Решение проблем **регионального нормирования энергосбережения в зданиях являются базовыми** задачами градостроительства и строительной физики. Именно ведущие специалисты НИИСФ РААСН в своих трудах заложили комплексную методологию анализа и исследования этой проблемы. К их числу можно отнести труды заведующих лабораториями НИИСФ Ю.А.Матросова и к.т.н. И.Н.Бутовского.

Фонд гражданских зданий в России с точки зрения энергоиспользования, по мнению этих специалистов, является весьма неэффективным. Проводимая в прошлые годы политика "дешевых" энергоносителей привела к строительству зданий с невысоким уровнем теплозащиты, а отсутствие средств регулирования и учета расхода тепловой энергии, горячей и холодной воды, природного газа создавало условия для их расточительного потребления.

Многоквартирные жилые дома в средней полосе России расходуют на нужды отопления 350-600 кВт.ч/(м².год), односемейные - 600-800 кВт.ч/(м².год). В целом по России расходы составляют на отопление составляют 55 кг у. т./(м².год) и на горячее водоснабжение 19 кг у. т./(м².год), т. е. суммарный расход тепловой энергии равен 74 кг у. т./(м².год), тогда как в Скандинавских странах суммарный расход тепловой энергии составляет 18 кг у.т./(м².год).

Следовательно, Россия в строительной сфере существенно отстает от развитых стран в эффективности энергопотребления.

Уровень теплозащиты большинства зданий существенно ниже, чем современные нормативные требования, предъявляемые к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций зданий. В основном в построенных зданиях средней полосы России сопротивление теплопередаче стен равно 0,9 - 1,1 м².°C/Вт, окон - 0,39 - 0,42 м².°C/Вт, покрытий - около 1,5 м².°C/Вт. Существующие нормативные требования увеличили требуемые значения сопротивления теплопередаче: для стен до 3,0 - 3,5 м².°C/Вт, для окон - до 0,55 - 0,60 м².°C/Вт, для покрытий - до 4,5 - 5,0 м².°C/Вт.

Под понятием "теплый дом" мы понимаем дом с эффективным использованием энергии. Это означает, что в здании должен быть обеспечен повышенный тепловой комфорт, высокая экологическая безопасность и сниженное удельное энергопотребление.

Исходя из сложившейся ситуации, возрастает роль нормирования таких зданий. Одним из главных требований является сокращение расхода топливно-энергетических ресурсов и уменьшение потерь тепла. Одновременно здание должно обеспечить комфортные условия пребывания в нем людей, а также нормальную эксплуатацию наружных ограждающих конструкций.

Согласно статье 53 Градостроительного кодекса Российской Федерации СНиП 10-01-94 "Система нормативных документов в строительстве. Основные положения" разрешена разработка норм не только на федеральном, но и на региональном уровне. Это

открыло возможность ускоренного внедрения современных норм по эффективному использованию энергии в строительстве на всей территории страны.

Территориальные строительные нормы (ТСН) устанавливают обязательные для применения в регионе нормативы и рекомендуемые положения, учитывающие природно-климатические особенности, возможности местной строительной индустрии и энергообеспеченность региона. Они утверждаются региональными органами исполнительной власти без предварительного согласования с федеральными органами при условии, что не содержат противоречий с нормативными документами федерального уровня.

Авторами были разработаны типовые ТСН по теплозащите зданий для регионов Российской Федерации "Энергетическая эффективность в зданиях" (разработчик НИИСФ совместно с ЦЭНЭФ и NRDC). Требования типовых ТСН преследуют цель проектирования жилых зданий и зданий общественного назначения с эффективным использованием энергии путем выявления суммарного эффекта энергосбережения от комплексного использования архитектурных, строительных и инженерных решений. В этих нормах впервые установлена взаимосвязь между теплозащитой здания и их системами отопления и теплоснабжения, причем этот комплекс рассматривается как единая энергетическая система.

Эти ТСН направлены на достижение следующих целей:

- Установление технически достижимого, социально и экономически оправданного уровня энергетической эффективности зданий с учетом регионального энергетического баланса, строительной конъюнктуры и защиты окружающей среды;

- Использование различных методов достижения энергетической эффективности зданий, включая:

- а) повышение тепловой эффективности ограждающей оболочки здания;

- б) улучшение теплового комфорта помещений;

- в) повышение уровня регулируемости систем отопления и теплоснабжения зданий;

- г) повышение эффективности эксплуатируемых систем теплоснабжения, в том числе применение децентрализованного теплоснабжения;

- д) рекуперация тепла вытяжного воздуха.

- Предоставление проектировщикам возможности гибкого подхода при проектировании зданий.

- Применение универсальных методов оценки энергетических параметров здания на стадиях проектирования, строительства и проверки их через год после ввода в эксплуатацию.

Основным критерием энергоэффективности в региональных нормах по энергосбережению в зданиях является нормируемое значение удельного энергопотребления - расход энергоносителей, приходящийся на 1 м^2 полезной площади или на 1 м^3 отапливаемого объема и на одни градусо-сутки отопительного периода. Расход энергоносителей устанавливается в местах подключения здания к системам теплоснабжения или другим источникам энергии с учетом эффективности систем теплоснабжения. При этом отпадает необходимость в жестком поэлементном нормировании сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, как это предусмотрено СНиП II-3-79*.

Главное в переходе на нормирование удельного энергопотребления заключается в том, что проектирование теплозащиты в этом случае позволяет проектировщику широко использовать свои творческие возможности по выявлению различных резервов снижения энергопотребления конкретных объектов. Это с одной стороны облегчает проектирование ограждающих конструкций, а с другой - направлено на реальное снижение энергопотребления отапливаемых зданий.

Наибольший реальный опыт получения эффекта от применения таких территориальных норм имеет Москва. Последовательно разработанные нормы по энергосбережению в зданиях МГСН 2.01-94 и МГСН 2.01-99 обеспечили нарастание уровня энергосбережения в московском строительстве. По данным Москомархитектуры энергоэффективность новых разработок в проектах 1997 года составила свыше 20%. Нормы 1999 года повышают энергоэффективность нового строительства жилых и общественных зданий еще на 20%. За период активного действия МГСН с 1996 по 2000 гг. уже получен энергосберегающий эффект, равный 4% от общего энергопотребления зданий г. Москвы.

Территориальные строительные нормы ТСН по энергосбережению уже приняты и внедрены в практику в двадцати регионах России от запада до востока (от Калининградской до Сахалинской областей) и от юга до севера (от Краснодарского края до Республики Коми). Они утверждены главами администраций своих регионов и зарегистрированы в Госстрое РФ. Ведется разработка аналогичных норм на федеральном уровне.

В результате разработки ТСН:

- Облегчено решение задачи перехода на второй этап энергосбережения СНиП II-3-79* "Строительная теплотехника";
- Создана возможность при проектировании достигать требуемого энергосберегающего эффекта за счет варьирования объемно-планировочными решениями, ограждающих конструкций и системами отопления и теплоснабжения;
- Открыта дорога к внедрению новых энергоэффективных технологий, материалов и оборудования.

Сравнительный анализ требований по теплозащите зданий по федеральным и территориальным нормам представлен в таблице.

Новым элементом региональных норм является "Энергетический паспорт здания", являющийся удобным инструментом при разработке проекта здания и контроля соответствия проекта требованиям территориальных норм. Кроме того, энергетический паспорт является обосновывающим документом для оценки энергосбережения с целью его стимулирования, предоставления дотаций и т. д. Аналогичный принцип нормирования был утвержден в Германии, Дании, США и Канаде и привел в этих странах к существенному энергосберегающему эффекту и в настоящее время предложен странам ЕС.

Важнейшим вопросом является реконструкция зданий. Наиболее эффективными средствами повышения уровня теплозащиты этих зданий являются:

- при реконструкции стен - наружная теплоизоляция с применением эффективных теплоизоляционных материалов. При этом обеспечивается существенное повышение теплотехнической однородности наружных ограждений, простота конструктивных решений дополнительной теплозащиты, возможность утепления зданий без выселения жильцов, сохранение существующей полезной площади, улучшение температурно-влажностного режима существующих ограждений;
- при реконструкции горизонтальных ограждений (покрытий, чердачных и цокольных перекрытий) - применение легких эффективных теплоизоляционных материалов, укладываемых на поверхность существующих покрытий и чердачных перекрытий, а в случае цокольных перекрытий - размещаемых в пространстве между полом и несущими конструкциями или закрепляемых на потолке подвальных помещений и подпольных пространств.

2. Рациональные тепловые пункты

Обычный тепловой пункт, выполненный из модулей



Обычный тепловый пункт

- Для тепловы пункта требуется помещение площадью до 0,6% от площади здания
- Обслуживание оборудования затруднено, потому что в помещении тесно
- Эффективность регулирования тепловой мощности обеспечивается при безупречной работе избыточного количества сложных и дорогих регуляторов
- Предварительно изготовленные модули способны обеспечить типовые теплотехнические процессы в полном наборе возможностей
- Стоимость теплового пункта составляет до 1,5% от стоимости здания

Рациональный тепловой пункт



Рациональный тепловой пункт

- Оборудование размещается компактно на площади в 2,5 - 3 раза меньшей, чем обычно
- Все элементы оборудования легко доступны для осмотра и обслуживания
- Тепловая мощность эффективно регулируется при работе минимального количества простых и надежных регулирующих устройств
- Специально подобранное оборудование обеспечивает только те технологические процессы, которые необходимы конкретному зданию
- Стоимость рационального теплового пункта в 2 - 2,5 раза меньше обычного

3. Тепловой насос для городского жилого дома

Мировая практика накопила богатый опыт применения тепловых насосов, использующих теплоту грунта для теплоснабжения индивидуальных зданий. В то же время для многоэтажного жилого дома такого опыта нет, поскольку в городской застройке трудно найти источник низкопотенциальной теплоты.

Например, в КиевЗНИИЭПе по проекту была создана и испытана уникальная система теплоснабжения 6-этажного жилого дома, в которой источником теплоты служат канализационные стоки этого дома и грунт, расположенный под ним (рис. 1).



Источники тепла для теплового насоса – сточно-гликолевый и грунтовые теплообменники в подвале 6-этажного жилого дома

4. Местная вентиляция помещений с помощью аппаратов ТеФо (теплая форточка)

Проблема недостаточной вентиляции помещений, в которых установлены окна с герметичными притворами, наиболее эффективно решается при помощи местных приточно-вытяжных рекуперативных аппаратов ТеФо (теплая форточка), разработанных совместно с предприятием-изготовителем «Теплообмен». ТеФо обеспечивает приток в помещение свежего подогретого воздуха без каких-либо затрат тепла, газа и электроэнергии.



Аппараты ТеФо, установленные под подоконником

5. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий

Основы проектирования энергоэффективных зданий были впервые разработаны президентом АВОК, член-корр. РААСН Ю.А. Табунщиковым, суть которых заключается в следующем.

Мировой энергетический кризис 70-х годов привел, в частности, к появлению нового научно-экспериментального направления в строительстве, связанного с понятием "здание с эффективным использованием энергии". Первое такое здание было построено в 1974 году в г. Манчестере (штат Нью-Хэмпшир, США). Цель строительства этого здания, как, впрочем, и всех, последовавших за ним в рамках нового направления, заключалась в выявлении суммарного эффекта энергосбережения от использования архитектурных и инженерных решений, направленных на экономию энергетических ресурсов. В последние годы значительно увеличился объем строительства зданий различного технологического назначения с эффективным использованием энергии, и получили развитие в международной практике стандарты, правила и другие нормативные документы по проектированию и оценке энергоэффективности таких зданий (см. журнал АВОК, 1997, №№ 2, 4, 6). В России в рамках международной программы Европейской экономической комиссии ООН "Энергетическая эффективность-2000" осуществляются проекты по строительству демонстрационных зон высокой энергетической эффективности.

Вместе с тем ощущается явная нехватка информации о научных методах, на основе которых осуществляется проектирование зданий. Не менее остро ощущается также и необходимость уточнения терминологии.

Автором предлагается использовать два понятия: энергоэффективные здания и энергоэкономичные здания.

Энергоэффективное здание включает в себя совокупность архитектурных и инженерных решений, наилучшим образом отвечающих целям минимизации расходования энергии на обеспечение микроклимата в помещениях здания.

Энергоэкономичное здание включает в себя отдельные решения или систему решений, направленных на снижение расхода энергии на обеспечение микроклимата в помещениях здания.

Из приведенных определений ясно различие между энергоэффективным и энергоэкономичным зданиями. Первое есть результат выбора определенными научными методами совокупности технических решений, наилучшим образом отвечающих поставленной цели. Второе есть результат суммирования ряда энергосберегающих решений в одном объекте.

С точки зрения современной науки, задача проектирования энергоэффективных зданий относится к так называемым задачам "системного анализа" или задачам "исследования операций", поиск решения которых связан с выбором альтернативы и требует анализа сложной информации различной физической природы.

Цель методов системного анализа или исследования операций - предварительное количественное обоснование оптимальных решений.

Оптимальными здесь называются решения, которые по тем или иным признакам предпочтительнее всех других.

Исследование операций включает в себя три главных направления:

- построение математической модели, то есть описание процесса на языке математики;
- выбор целевой функции. Это исследование включает в себя определение ограничивающих условий и формулирование оптимизационной задачи;
- решение поставленной оптимизационной задачи.

Заметим, что принятие окончательного решения выходит за рамки исследования операций и относится к компетенции ответственного лица (чаще группы лиц), которому предоставлено право окончательного выбора и на которого возложена ответственность за

этот выбор. Делая выбор, он может учитывать наряду с рекомендациями, вытекающими из математического расчета, еще ряд соображений количественного и качественного характера, которые в этих расчетах не были учтены.

Математическая модель и целевая функция для энергоэффективного здания

В соответствии с методологией системного анализа математическую модель теплового режима здания как единой теплоэнергетической системы целесообразно представить в виде трех взаимосвязанных моделей, более удобных для изучения [3, 4, 5]:

- математической модели теплоэнергетического воздействия наружного климата на здание;
- математической модели теплоаккумуляционных характеристик оболочки здания;
- математической модели теплоэнергетического баланса помещений здания.

Подробное описание математических моделей отдельных элементов здания и здания как единой энергетической системы дано в [3, 4, 5].

Оптимизационная задача для энергоэффективного здания имеет следующее содержание: определить показатели архитектурных и инженерных решений здания, обеспечивающих минимизацию расхода энергии на создание микроклимата в помещениях здания. В обобщенном математическом виде целевую функцию для энергоэффективного здания можно записать так:

$$Q_{\min} = F(a_i),$$

где Q_{\min} - минимальный расход энергии на создание микроклимата в помещениях здания; a_i - показатели архитектурных и инженерных решений здания, обеспечивающих минимизацию расхода энергии.

При реальном проектировании энергоэффективное здание в большинстве случаев не будет реализовано из-за ряда ограничений, вытекающих из конкретной строительной ситуации или из-за ряда соображений количественного или качественного характера, которые не были учтены при математическом моделировании. В этом случае целесообразно ввести показатель, характеризующий степень отличия реализованного решения от оптимального. В других случаях этот же показатель может служить критерием оценки искусства проектировщика. Назовем эту величину "показателем теплоэнергетической эффективности проектного решения" и обозначим h , так что по определению

$$h = Q_{\text{эф}}/Q_{\text{пр}},$$

где $Q_{\text{эф}}$ - расход энергии на создание микроклимата в помещениях энергоэффективного здания;

$Q_{\text{пр}}$ - расход энергии на создание микроклимата в помещениях здания, принятого к проектированию.

С учетом принятого разделения математической модели теплового режима здания как единой теплоэнергетической системы на три взаимосвязанных подмодели можно записать $h = h_1 \cdot h_2 \cdot h_3$,

где h_1 - показатель теплоэнергетической эффективности оптимального учета воздействия наружного климата на здание; h_2 - показатель теплоэнергетической эффективности оптимального выбора тепло- и солнцезащитных характеристик наружных ограждающих конструкций; h_3 - показатель теплоэнергетической эффективности оптимального выбора систем обеспечения микроклимата.

Оптимизация теплоэнергетического воздействия наружного климата на тепловой баланс здания

Теплоэнергетическое воздействие наружного климата на тепловой баланс здания может быть оптимизировано за счет выбора формы здания (для зданий прямоугольной формы принимаются в расчет такие параметры, как его размеры и ориентация), расположения и площадей заполнения световых проемов, регулирования фильтрационных потоков. Например, удачный выбор ориентации и размеров здания прямоугольной формы дает возможность в теплый период года уменьшить воздействие солнечной радиации на оболочку здания и, следовательно, снизить затраты на его охлаждение, а в холодный период - увеличить воздействие солнечной радиации на оболочку здания и уменьшить затраты на отопление. Аналогичные результаты будут получены при удачном выборе ориентации и размеров здания по отношению к воздействию ветра на его тепловой баланс.

Методология проектирования систем отопления, вентиляции, кондиционирования основана на расчетах тепловых и воздушных балансов здания для характерных периодов года. Например, для России этими периодами года являются: наиболее холодная пятидневка, отопительный период, самый жаркий месяц, период охлаждения, расчетный год. В этом случае оптимизация теплоэнергетического воздействия наружного климата на тепловой баланс здания за счет выбора его формы и ориентации даст следующие результаты:

- для наиболее холодной пятидневки - снижение установочной мощности системы отопления;
- для отопительного периода - снижение затрат теплоты на отопление;
- для самого жаркого месяца - снижение установочной мощности системы кондиционирования воздуха;
- для периода охлаждения - снижение затрат энергии на охлаждение здания;
- для расчетного года - снижение затрат энергии на обогрев и охлаждение здания.

В общем случае оптимизировать теплоэнергетическое воздействие наружного климата на тепловой баланс здания можно для любого характерного периода времени.

Важно отметить следующее: изменение формы здания или его размеров и ориентации с целью оптимизации влияния наружного климата на его тепловой баланс не требует изменения площадей или объема здания - они сохраняются фиксированными.

Решение задачи по выбору оптимальной формы здания приведено в [7], а решение задачи по выбору оптимальных размеров и ориентации здания прямоугольной формы, а также значения показателя тепловой эффективности проектного решения приведены в [8].

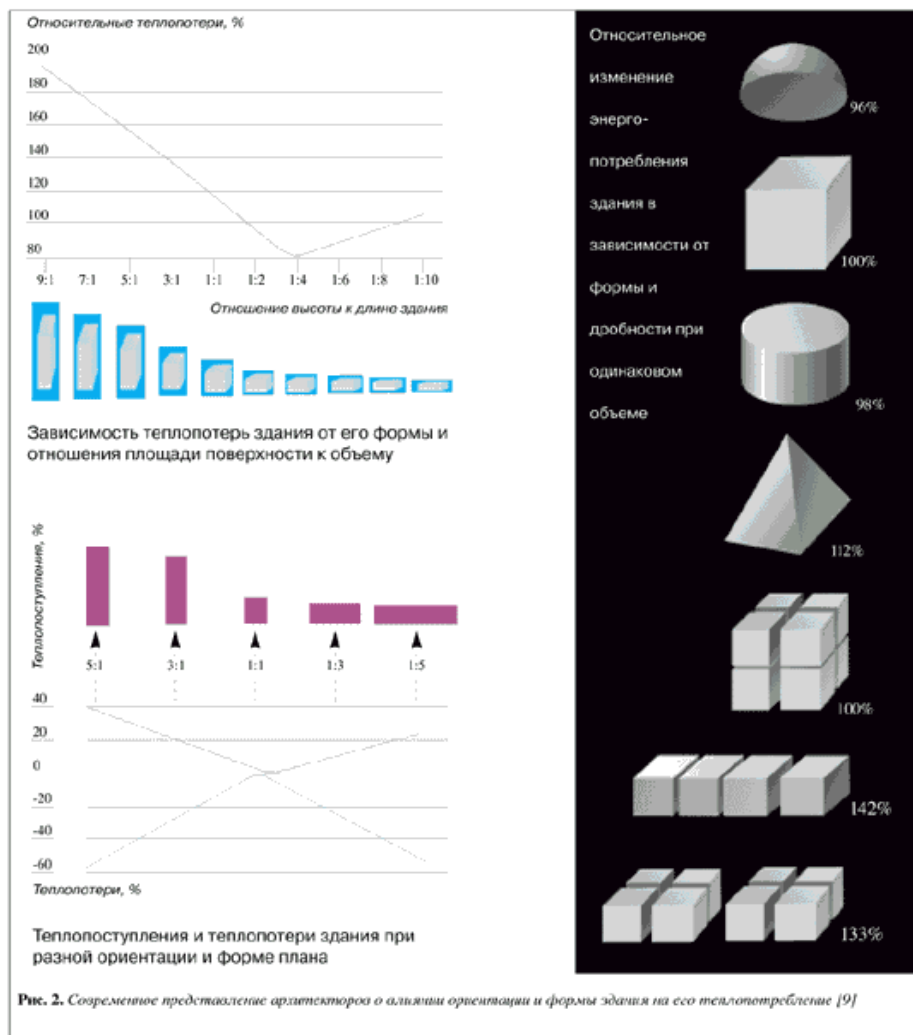


На рис. 1 приведен пример изменения формы здания с целью оптимизации теплоэнергетического воздействия климата на его тепловой баланс в зависимости от характерного периода года.

Авторами были проведены исследования влияния теплоэнергетического воздействия наружного климата на тепловой баланс здания за счет выбора оптимальных значений его размеров и ориентации. Расчеты проводились для климатических условий Москвы (560 с. ш.) и Ростова-на-Дону (480 с. ш.). Исходная ориентация принималась широтной, меридиональной и диагональной. В качестве объекта исследований принималось здание прямоугольной в плане формы, общей полезной площадью 1440 м². В качестве целевой функции принята минимизация затрат энергии на обогрев здания в холодный период или на охлаждение здания в теплый период. Цель исследований - выявить, как количественно увеличивается показатель теплоэнергетической эффективности здания за счет оптимального учета воздействия наружного климата на тепловой баланс здания. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1
Повышение теплоэнергетической эффективности здания за счет оптимизации воздействия наружного климата на его тепловой баланс

Период расчета	Повышение теплоэнергетической эффективности, %	
	Москва	Ростов-на-Дону
Холодная пятидневка	7	8
Отопительный период	12	15
Период охлаждения	22	25
Самый теплый месяц	15	18



Оптимизация теплозащиты ограждающих конструкций

В традиционном понимании оптимизация теплозащиты наружных ограждающих конструкций зданий - это метод вычисления толщины теплоизоляции конструкции "по минимуму приведенных затрат". Математическая модель приведенных затрат в общем

случае включает в себя два показателя: затраты на производство конструкций (единовременные затраты) и затраты на их использование (эксплуатационные затраты). Расчет теплоизоляции "по минимуму приведенных затрат" является объективным методом, признанным во всем мире, но содержит в своей сущности скрытую опасность, отражающую объективную реальность существующей в стране экономической ситуации, которая может явиться непреодолимым препятствием реализации метода на практике. Это связано с использованием в методе показателей стоимости энергии и материалов. Многим специалистам памятна история со СНиП II-3-79 "Строительная теплотехника", который был разработан по заданию высших правительственных органов с целью существенного ужесточения требований к экономии топливно-энергетических ресурсов при эксплуатации зданий. Ожидалось, что главным достоинством этого документа явится введение в него метода приведенных затрат для выбора оптимальной теплозащиты ограждающих конструкций. При этом теплозащита ограждающих конструкций, включая заполнение световых проемов, должна была приниматься как наибольшая из двух величин, определяемых по санитарно-гигиеническим условиям и по минимуму приведенных затрат. Безусловно, предполагалось, что метод приведенных затрат даст большее значение теплозащиты, и это явится решением проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов. Но... экономическая реальность складывалась таким образом, что энергия стоила дешевле газированной воды, и проектировщики при расчетах получили, что теплозащита по санитарно-гигиеническим требованиям превосходит величину, определенную по минимуму приведенных затрат. В строительном комплексе сложилась драматическая ситуация, которая усугублялась тем обстоятельством, что нельзя было выявить виновных. Метод был выбран правильно, но нельзя же было признать, что экономика социализма несостоятельна! Сегодня использование метода приведенных затрат сталкивается с другой, пока непреодолимой трудностью. Отсутствуют надежные, прогнозируемые на ближайшие 20-30 лет показатели стоимости энергии и материалов.

Вышеизложенное относится к проблеме экономической оптимизации теплозащиты ограждающих конструкций здания. Цель настоящей статьи - поиск решения проблемы теплоэнергетической оптимизации ограждающих конструкций.

Возможность решения этой проблемы в ее современном понимании и современными методами показана в ряде работ [3, 4, 6]. Современное понимание означает, что будет достигнуто решение, которое с учетом принятых ограничений является наиболее предпочтительным. Современные методы - это методы исследования операций. Рассмотрим это более подробно.

К наружным ограждающим конструкциям предъявляется в общем случае достаточно большое количество требований. Высокий уровень теплозащиты в холодный период в условиях теплопередачи, близкой к стационарному режиму, высокий уровень теплоустойчивости в теплый и холодный периоды в условиях теплопередачи, близкой к периодическому режиму, низкая энергоемкость внутренних слоев при колебаниях теплового потока внутри помещения, высокая степень воздухопроницаемости, низкая влагоемкость и т.д. и т.п.

Безусловно, при проектировании стремятся удовлетворить, в первую очередь, главным требованиям. Практика показывает, что количество таких требований, как правило, не более двух. В первую очередь, это теплозащита и теплоустойчивость. Здесь открываются большие возможности для оптимизации. Сущность ее состоит в том, что надо сконструировать методом исследования операций ограждающую конструкцию, которая оптимальным образом удовлетворяла бы требуемым (нормативным) значениям теплозащиты и теплоустойчивости.

В [6] решена задача определения оптимального расположения слоев материалов в многослойной ограждающей конструкции. Дано подробное решение задачи и показано,

что в зависимости от порядка расположения слоев материала величина теплоустойчивости конструкции может меняться в три раза.

В [3] решена задача подбора материала для многослойной ограждающей конструкции заданной фиксированной толщины, обеспечивающей наибольшее затухание наружных тепловых воздействий. Получено решение: наибольшее затухание обеспечивает материал, имеющий меньшую теплопроводность и большую объемную теплоемкость. Следствие решения: для районов с жарким климатом целесообразно выбирать конструкцию с меньшими значениями теплопроводности материалов, а для районов с холодным климатом - с большими значениями коэффициентов теплоусвоения материалов.

В [4] решена задача определения предельных значений теплозащиты наружных ограждающих конструкций помещения при заданном значении солнцезащиты окон и заданной кратности воздухообмена. Помещение не оборудовано установкой кондиционирования. В результате решения получены следующие интересные выводы:

- теплозащита ограждающих конструкций не влияет на температурный режим помещения при определенных значениях солнцезащиты окон и кратности воздухообмена;
- увеличение теплозащиты наружных ограждающих конструкций приводит к ухудшению теплового режима помещения, если теплозащита окон недостаточна и кратность воздухообмена невелика.

Последний результат требует особой внимательности от проектировщиков, которые используют наружные ограждающие конструкции с эффективной теплоизоляцией для зданий, проектируемых для строительства в теплом климате.

В [3] содержится ряд интересных решений по оптимизации теплозащиты наружных ограждающих конструкций зданий с кондиционированием воздуха, для окон с теплоотражающей пленкой, для зданий с периодическим отоплением и т.д.

Оптимизация тепловой нагрузки на систему климатизации помещений здания

Специалисту, занимающемуся проектированием и расчетом систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, очевидно, что задачей проектирования и расчета является определение двух взаимосвязанных показателей: количества энергии и способа ее распределения (раздачи). По существу, речь идет о том, чтобы рассчитать и запроектировать такую систему управления расходом и распределением энергии, чтобы обеспечить при использовании ее минимальный расход. Таким образом, задача оптимизации теплоэнергетической нагрузки на систему обеспечения теплового режима здания будет относиться к так называемым задачам на оптимальное управление и получит следующее содержание: найти такое управление расходом энергии $Q(t)$ на обогрев помещения, удовлетворяющее уравнению теплового баланса помещения и соответствующим начальным и конечным тепловым условиям, для которого расход энергии

$$I = \int Q(t) dt$$

имеет наименьшее возможное значение.

Управление $Q(t)$, дающее решение поставленной задачи, называется оптимальным управлением, а соответствующая траектория изменения температуры внутреннего воздуха называется оптимальной траекторией.

Решение задачи получено авторами и приведено в [5].

Суть решения: время разогрева помещения должно быть минимизировано.

Если иметь в виду, что реальное помещение есть совокупность теплоемких ограждающих конструкций и теплоемкого внутреннего оборудования (мебели), то процесс нагрева предполагает повышение температуры всей совокупности элементов помещения, то есть ограждающих конструкций и оборудования. Элементы высокой тепловой аккумуляции потребуют большего времени на разогрев. Следовательно, минимизация времени разогрева помещения достигается минимизацией времени разогрева элементов высокой тепловой аккумуляции. Можно сразу указать два простых

случая: время разогрева помещения будет стремиться к минимуму, если внутренние поверхности ограждающих конструкций имеют низкие значения коэффициента теплоусвоения материалов, а также если имеет место высокая интенсивность конвективного теплообмена между внутренним воздухом и внутренними поверхностями ограждающих конструкций. Оптимальный результат достигается, если совпадают оба случая.

Правильность этого решения получила подтверждение во время обсуждения доклада авторов по данной теме в Датском техническом университете. Датские специалисты сообщили, что во время реставрации католического собора с массивными каменными креслами для прихожан с целью экономии энергии на обогрев собора, используя понижение температуры внутреннего воздуха в ночное время, ими было принято решение разогрев собора начинать с разогрева электрическими подогревателями массивных каменных кресел. Экономия энергии составила 30-35%.

Авторы статьи проделали численные расчеты расхода энергии для помещения площадью 24 м^2 и объемом 72 м^3 с двумя наружными ограждающими конструкциями и окном с двойным остеклением площадью 3 м^2 . Рассмотрены три варианта наружных ограждающих конструкций:

- кирпичная кладка толщиной $0,56 \text{ м}$, коэффициент теплоусвоения $8,02 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С})$;
- керамзитобетонная панель толщиной $0,23 \text{ м}$, коэффициент теплоусвоения $3,36 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С})$;
- панель типа "сэндвич" с утеплителем из плиточного пенопласта с обшивкой с двух сторон металлическими листами, толщина панели $0,052 \text{ м}$, коэффициент теплоусвоения $0,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С})$.

Для сопоставления результатов расчетов ограждающие конструкции имеют одинаковое термическое сопротивление. Кратность воздухообмена принята 3 1/ч . Температура наружного воздуха -5°С .

Начальные условия: температура внутреннего воздуха 10°С , температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций 10°С .

Конечные условия: температура внутреннего воздуха 22°С , температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций 14°С .



Рис.3 Пример разогрева помещения настилающимися струями.

Чтобы обеспечить минимизацию времени разогрева, было принято, что разогрев осуществляется конвективными тепловыми струями, настилающимися на внутренние поверхности ограждающих конструкций (рис. 3). Интенсивность конвективного теплообмена соответствовала следующим трем значениям коэффициентов конвективного теплообмена: $a_1=3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С})$; $a_2=10,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С})$; $a_3= 21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С})$.

Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты расчета затрат энергии на разогрев помещения

Варианты	Время разогрева (τ , ч) и затраты энергии (Q , Вт·ч) на разогрев помещения при заданных коэффициентах конвективного теплообмена											
	$\alpha_c=3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С})$				$\alpha_c=10,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С})$				$\alpha_c=21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С})$			
	τ	Q	Экономия энергии, %		τ	Q	Экономия энергии, %		τ	Q	Экономия энергии, %	
			\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2			\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2			\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2
Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе	9,7	58100	0	0	3,5	20970	64	0	1,2	7160	88	0
Керамзитобетонная панель	2,5	35200	0	40	0,9	12560	64	40	0,31	4330	88	40
Панель типа "Сэндвич" с утеплителем из плиточного пенопласта	0,6	15650	0	56	0,2	4715	70	62	0,08	1940	88	55

В табл. 2 использованы условные обозначения: Q - затраты энергии на разогрев, включая теплопотери через окна и за счет воздухообмена; \mathcal{E}_1 - экономия энергии за счет повышения интенсивности конвективного теплообмена при одной и той же ограждающей конструкции; \mathcal{E}_2 - экономия энергии за счет уменьшения теплоаккумуляционных показателей ограждающей конструкции (уменьшение коэффициента теплоусвоения).

Получен невероятный с точки зрения "здорового смысла" результат: максимальное значение экономии энергии при разогреве помещения при стремлении минимизировать время разогрева достигает 97%.

Такой результат был обеспечен выбором оптимальной стратегии распределения расходуемой энергии в помещениях, то есть нагрев начинался с разогрева теплоемких ограждающих конструкций. Практическую обоснованность такого подхода подтверждает использование потолочных теплоизлучателей "FRICO AB", производимых в Швеции (см. ИБ "Энергосбережение", 1996, № 9). Принципиальное отличие обогревателей "FRICO AB" состоит в том, что лучистое тепло направлено на нагрев пола помещения, а затем косвенным путем идет нагрев воздуха помещения. Применение потолочных теплоизлучателей "FRICO AB" обеспечивает экономию энергии до 50% по сравнению с конвективными методами обогрева.

Рассмотрение табл. 2 позволяет сделать следующие выводы:

- экономия энергии при разогреве помещения за счет увеличения интенсивности конвективного теплообмена в 3 раза достигает 64-70%, а при увеличении в 6 раз - 88%. При этом время разогрева уменьшается в среднем в 3 раза;
- экономия энергии при разогреве помещения при уменьшении теплоаккумуляционных показателей ограждающей конструкции (уменьшение коэффициента теплоусвоения) в 2,4 раза достигает 40%, а в 10,4 раза - достигает 55-62%. При этом время разогрева уменьшается в среднем соответственно в 3,8 и 16 раз.

В заключении раздела следует отметить, что создание практически реализуемых в проектной практике методов проектирования энергоэффективных зданий требует дополнительной значительной работы и усилий коллектива специалистов.

Цель настоящей лекции - продемонстрировать заинтересованным специалистам, что в настоящее время существуют основы научных методов проектирования энергоэффективных зданий и попытаться дать им терминологическое определение.

Рекомендуемая литература к разделу 5:

1. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. - М.: Наука, 1981.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. - М.:Наука, 1988.
3. Табунщиков Ю.А. Основы математического моделирования теплового режима здания как единой теплоэнергетической системы. Докторская диссертация. - М.: НИИСФ, 1983.

4. Табунщиков Ю.А., Хромец Д.Ю., Матросов Ю.А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений. - М.: Стройиздат, 1986.
5. Tabunschikov Y. Mathematical models of thermal conditions in buildings, CRC Press, USA 1993.
6. Jurobic S.A. An investigation of the minimization of building energy load through optimization techniques. Los Angeles scientific center, IMB Corporation, Los Angeles, California.
7. Бродач М.М. Изопериметрическая оптимизация солнечной энергоактивности зданий. - Гелиотехника 2, Ташкент, 1990.
8. Бродач М.М. Энергетический паспорт зданий / АВОК, 1993, № 1/2.
9. Klaus Daniels, "The Technology of Ecological Building", Birkhauser-Verlag fur Arhitektur, Basel, 1997.

6. Проведение аналитического обзора в области конструктивных решений и видов энергосберегающих систем термоизоляции зданий

6. 1. Описание известных фасадных систем

В суровых климатических условиях России вопрос утепления жилых и офисных зданий приобретает все большую актуальность. Особенно это стало актуально в последние десятилетия, учитывая непрерывный рост цен на энергоносители. Ведь чем надежнее и эффективнее системы утепления фасадов, тем здания являются более экологичными и одновременно экономичными в эксплуатации. В этой связи можно отметить, что использование современных технологий и подходящих материалов позволяет заказчикам и проектировщикам вполне успешно находить оптимальные решения, обеспечивающие требуемые нормативные показатели по энергосбережению и рациональному использованию топливно-энергетических ресурсов.

Для создания комфортных условий проживания или работы в помещениях необходимо применение систем утепления, обеспечивающих приемлемую температуру внутренних поверхностей стен, которая напрямую зависит от термического сопротивления ограждающих конструкций здания. В настоящее время существует большое количество разнообразных методов утепления фасадов зданий, связанных как с использованием конструктивных решений, так и с применением современных утеплительных материалов.

Для обеспечения тепловой защиты жилых зданий применяются:

- многослойные;
- трехслойные;
- сплошные конструкции фасадных систем.

Что касается многослойных фасадных систем, то среди них можно выделить два вида конструкций: во-первых, с применением колодцевой кирпичной кладки и, во-вторых, с использованием многослойных наружных стеновых панелей, изготавливаемых промышленным способом на заводах железобетонных конструкций. Разумеется, стены, выложенные колодцевой кирпичной кладкой и утепленные плитами из минеральной ваты, более прочны, чем штукатурные системы утепления. Однако часто в таких конструкциях зимой возникает проблема вывода избыточной влаги из утеплителя, которая накапливается в процессе эксплуатации помещений. Кроме того, колодцевая кладка - достаточно сложный и трудоемкий процесс, требующий высокой квалификации каменщиков. Укладка утеплителя также представляет определенные технологические трудности, особенно его фиксация. Все эти нюансы приводят к удорожанию строительства и увеличению его сроков.

В этом отношении использование многослойных стеновых панелей более экономично, однако и они не решают проблему эффективного сбережения тепла, т.к. не удается избежать процесса накопления влаги в толще утеплителя или на границе утеплитель-бетон за счет конденсации бытовых паров. В результате теплотехнические показатели системы ухудшаются. Слабым местом системы многослойных панелей оказались также стандартные мосты холода и стыки между панелями. Ведь большая вероятность попадания влаги и промерзания не добавляет комфорта.

Одним из видов многослойных систем являются вентилируемые фасады. Вентилируемый фасад — это металлическая конструкция, удерживающая отделочный материал и утеплитель, проходящий прямо по стене вдоль вентилируемой зоны. Вентилируемые фасадные системы позволяют легко скрыть внешние дефекты наружных стен и значительно снижают уровень шума в помещении, т.к. утеплители являются обычно и хорошими звукоизоляторами. Такие системы обладают длительным сроком службы и обеспечивают эффективность утепления и комфортность микроклимата

помещений. Однако, к сожалению, вентилируемые фасады значительно дороже других систем утепления, и это сдерживает их широкое распространение в строительстве. Преимущества вентилируемого фасада гарантированы только в том случае, если работу по его монтажу выполняют специалисты высокой квалификации. Кроме этого такие фасады подходит не для каждого архитектурного решения. Для навесных вентилируемых фасадов, лучше выбирать здания с большими ровными плоскостями и строгими формами. Для зданий сложных геометрических форм использование вентилируемых фасадов становится проблематичным.

В качестве утеплителя, разумеется, должны использоваться материалы, обладающие высокими теплоизолирующими характеристиками. Кроме того, они должны быть долговечными и устойчивыми к старению, иметь стабильную форму, монтироваться сплошным слоем и при этом позволять водяному пару и влаге попадать в воздушную прослойку, предотвращая образование и скопление в конструкциях конденсата.

Среди известных утеплителей пенопласт сравнительно недорог и обладает неплохими теплоизолирующими свойствами. Однако он не дает зданию «дышать» и значит затрудняет удаление паров влаги из помещений. Это вызывает дискомфорт и способствует развитию различных грибков и плесени. Кроме того, несмотря на то, что современный пенопласт не поддерживает горения, при пожаре он выделяет вещества, которые приводят к удушью. Другой полимерный материал - вспененный полиэтилен. Для улучшения теплоизоляционных свойств его дополнительно покрывают слоем фольги, которая отражает не только свет, но и тепло. Он имеет довольно малую толщину - до 10 мм. Его недостатки: паронепроницаем и горюч. Преимущество заключается в удобстве доставки: за счет малой толщины легче перевозить или переносить большое количество утеплителя.

Стекловата не подвержена горению, но является более дорогим материалом. При этом она значительно впитывает влагу из воздуха и при утеплении ее необходимо упаковывать во влагонепроницаемые пакеты. Поэтому она становится такой же паронепроницаемой, как и пенопласт.

Самый дорогой материал для утепления минеральная вата, но недостатков у нее практически нет, особенно если она подвергнута предварительной гидрофобизации для предотвращения впитывания влаги.

В трехслойных системах утеплитель располагается внутри ограждающих конструкций. Первый слой – внутренняя несущая стена. Второй слой — это утеплитель, его толщина зависит от теплофизических требований. И третий (лицевой) слой – это защита теплоизоляции от внешних воздействий. Такие фасадные системы достаточно распространены, так как являются довольно недорогими и при этом эффективными. Но у них есть и недостаток: конденсация влаги внутри конструкции. Поэтому обязательно нужно создать воздушный вентиляционный зазор для отвода влаги или паропроницаемый защитный слой. С точки зрения теплотехники один из недостатков трехслойной системы – возможность появления в ее конструкции мостиков холода. Серьезную опасность представляет, прежде всего, железобетонная плита перекрытия.

Современный этап развития науки о строительных материалах позволяет на практике воплотить в жизнь и усовершенствовать теорию о совместной работе бетонов и легких теплоизоляционных полимеров, объединенных в единое целое. Именно такая фасадная система называется сплошной.

Кладка однослойной стены с тонкими швами производится на клеевой раствор, а с более толстыми – на теплозащитную смесь. Ее тепловые изоляционные характеристики приближены к изоляционным характеристикам блоков, благодаря чему в местах швов не создаются термические мостики. Боковые поверхности некоторых блоков имеют паз или шпунт, так что не нужно выполнять вертикальные швы.

Полистиролбетон является композиционным материалом, близким по своему функциональному значению к ячеистым бетонам. Основой состава этого бетона является цементное вяжущее и сверхлегкий заполнитель — вспученный полистирол.

Благодаря составу, свойствам и постоянно совершенствующимся технологиям производства данный материал обладает многими достоинствами и имеет ряд преимуществ перед остальными бетонами и изделиями ЖБИ.

Полистиролбетон при низкой плотности имеет удовлетворительные прочностные характеристики, не деформируется под нагрузкой, обладает низкой теплопроводностью и высокой звукоизоляцией. Полистиролбетон пожаробезопасен и на порядок долговечнее других теплоизоляционных материалов, так как имеет улучшенные показатели по морозостойкости, водонепроницаемости, химической и биологической стойкости. Полистиролбетон паро- и воздухопроницаем, не токсичен и обладает пониженной сорбционной влажностью.

Основным преимуществом ячеистого бетона является то, что он обладает хорошей теплоизоляцией и стойкостью к сжатию, достаточной для постройки дома из нескольких этажей. Его легко обрабатывать, можно резать обычной пилой для древесины, что очень важно во время подгонки элементов и выполнения монтажных углублений. Элементы из ячеистого бетона имеют хорошую паропроницаемость, благодаря чему сооруженные из них стены могут «дышать». Они устойчивы к воздействию огня в течение четырех часов(!), а также морозоустойчивы.

Недостатком ячеистых бетонов является значительная влагоемкость и легкое поглощение влаги из воздуха, что связано с пористостью материала. Поэтому нужно беречь их от воздействия влаги. Блоки из ячеистого бетона более легки, чем керамические материалы, но по той же причине обладают и более низкими акустическими характеристиками и способностью аккумуляции тепла. Также они являются более хрупкими, следовательно, требуют особо осторожной транспортировки, а также погрузки и разгрузки.

Использование гипсовых вяжущих на основе бета полугидрата в сочетании с модификаторами МГ позволяет создавать составы сухих гипсобетонных смесей для устройства полов, а также мелкозернистые бетоны и поробетоны для несущих и ограждающих конструкций в диапазоне плотностей от 400 кг/м^3 до 1800 кг/м^3 и прочностью при сжатии до 20 МПа.

Испытания показали, что материалы ограждающих конструкций на основе гипсового вяжущего, производимые с использованием модификатора гипса, обладают механическими и эксплуатационными характеристиками, сопоставимыми с характеристиками материалов на основе портландцемента. За счет снижения сроков набора распалубочной прочности увеличивается эффективность механизации работ при использовании гипсопобетона в монолитных и сборно-монолитных ограждающих конструкциях.

Составы на основе модифицированных гипсовых вяжущих сохраняют традиционно хорошие санитарно-гигиенические свойства гипсовых материалов и высокую скорость набора прочности, но при этом они обладают достаточной водостойкостью и хорошими прочностными характеристиками. Сочетание этих свойств позволяет:

- повысить энергосбережение строящихся зданий;
- использовать материалы на основе модифицированного гипсового вяжущего в качестве несущих или ограждающих конструкций в зданиях различного назначения и этажности или применять как отделочные материалы в помещениях с различными режимами эксплуатации;
- широко применять механизированные технологии производства строительных работ без использования тяжелой строительной техники;

-в несколько раз сократить сроки возведения зданий, повысить оборачиваемость опалубки и снизить себестоимость строительства.

При этом сроки производства работ сокращаются до восьми раз при возведении монолитных и до 4 раз при возведении сборно-монолитных многослойных ограждающих конструкций.

С использованием модифицированных гипсовых вяжущих в настоящее время возведены 5 экспериментальных малоэтажных жилых домов с использованием различных конструктивных решений. Осуществляемый мониторинг эксплуатации зданий и состояния несущих и ограждающих конструкций, проводимый в течение 3 лет, позволил выявить недостатки отдельных конструктивных решений зданий и разработать рекомендации по проектированию несущих и ограждающих конструкций из материалов на основе модифицированных гипсовых вяжущих.

Опыт России в возведении зданий и сооружений из материалов на основе гипсовых вяжущих сегодня не является единичным. Например, в Австралии и Китае построены и находятся в эксплуатации более 100 зданий различного назначения. В Индии для реализации национальной программы по строительству социального жилья планируется построить миллионы квадратных метров жилья с применением гипсовых вяжущих. Экспериментальные малоэтажные здания из материалов на основе гипсовых вяжущих построены в США, где почти 60% гипсовых вяжущих производятся из импортного сырья.

Учитывая ситуацию, складывающуюся в цементной промышленности, рост цен на портландцемент и возможный дефицит его поставок, применение модифицированных гипсовых вяжущих может стать своевременным решением в выборе материала для различных видов строительных конструкций.

Широкое использование модифицированных гипсовых вяжущих при возведении ограждающих малоэтажных зданий уже сейчас может дать реальный вклад в реализацию национальной программы «Доступное и комфортное жилье». Прежде всего, это значительное снижение стоимости квадратного метра жилья за счет применения местных строительных материалов, к которым относятся гипсовые вяжущие, и эффективной механизации работ.

Использование составов на основе гипсовых вяжущих обусловлено во многом совокупностью положительных свойств, присущих только данной группе вяжущих. В первую очередь, это отсутствие усадочных деформаций, быстрый набор прочности, хорошие тепло и звукоизолирующие свойства, хорошая огнестойкость. Так как применение составов ориентировано в основном на производство внутренних работ, то к привлекательным свойствам добавляются также хорошие экологические характеристики и высокая паропроницаемость.

Популярность гипсовых вяжущих возросла и в связи с принятием во многих странах мира ограничений по выбросам в атмосферу CO_2 , так как при производстве гипсовых вяжущих выбросы в атмосферу CO_2 до 10 раз меньше чем при производстве цемента.

Для России широкое использование гипсовых вяжущих при возведении и отделке зданий и сооружений особенно актуально, так как:

- половина запасов мировых разведанных месторождений гипса находится на территории России;
- себестоимость производства гипсового вяжущего более чем в 5 раз ниже себестоимости производства цемента ;
- на тонну продукции при производстве гипса расход энергии до 6 раз меньше, чем при производстве одной тонны цемента;
- использование материалов на основе гипсовых вяжущих создает более комфортные условия для пребывания человека в помещении в различных климатических зонах при большом диапазоне изменения температурно-влажностных параметров;

-сроки производства работ с использованием бетонов и растворов на основе гипсовых вяжущих в несколько раз ниже, чем при работе с аналогичными материалами на основе портландцемента.

Однако в России сложилась парадоксальная ситуация с применением гипсовых вяжущих в строительстве. Во-первых, при огромных запасах природного гипса в России его потребление в несколько раз ниже чем в развитых зарубежных странах. Во-вторых, при более низкой себестоимости производства гипсового вяжущего его стоимость в России не намного ниже портландцемента. Например, в США средняя стоимость гипсового вяжущего в 2007 году при отпуске с завода производителя составляла 17,7 ам. дол., что почти в 5 раз ниже стоимости портландцемента. В-третьих, в России практически не используются синтетический гипс и гипсосодержащие отходы.

При данных условиях применение гипсовых вяжущих в России для большинства случаев становится экономически неоправданным, и, несмотря на большое количество преимуществ, гипсовые вяжущие используют в основном при производстве достаточно дорогой продукции гипсокартонных и пазогребневых плит, а также сухих строительных смесей для производства отделочных работ и устройства полов в помещениях с нормальным режимом эксплуатации.

Одним из сдерживающих факторов применения материалов на основе гипсовых вяжущих при возведении зданий и сооружений является также отсутствие информации об опыте эксплуатации материалов на основе гипсовых вяжущих в условиях воздействия влажности и знакопеременных температур. Результаты лабораторных испытаний в данном случае не могут победить инертность строителей, у которых сформировалось отношение к материалам на основе гипсовых вяжущих как к материалам, не обладающим достаточной прочностью, водостойкостью и долговечностью. Даже в традиционных областях применения гипсовых вяжущих, таких как штукатурки и полы, среди строителей часто бытует мнение, что гипсовые материалы лучше не использовать.

Между тем в России имеется достаточный опыт широкого применения гипсовых вяжущих в конструкциях различного назначения и эксплуатации их в различных температурно-влажностных условиях в течение длительного времени.

Применение водостойких гипсовых вяжущих существенно расширяет возможности использования конструкций с использованием гипсовых вяжущих и повышает их конкурентную способность по сравнению с составами на основе портландцемента.

Низкая водостойкость материалов на основе гипсовых вяжущих определяется, прежде всего, достаточно хорошей растворимостью двуводного гипса в воде, а также значительной пористостью затвердевших растворов и бетонов на основе гипсовых вяжущих. Исходя из этого, основными направлениями повышения водостойкости данных составов является снижение растворимости двуводного гипса и пористости материала с одновременным закрытием пор для предотвращения доступа воды внутрь материала. Поэтому при проектировании состава используют компоненты, обеспечивающие максимально возможную водостойкость без снижения других строительно-технологических характеристик. Это достигается, в первую очередь, применением в качестве вяжущего ангидрита, α -полугидрата или совместного использования смеси ангидрита и α -полугидрата. Такой выбор связан с более плотной структурой и более низкой водопотребностью данных гипсовых вяжущих по сравнению с гипсом β -полугидратом. Правильно подобранный гранулометрический состав заполнителей и наполнителей также способствует снижению пористости затвердевшего раствора. Более плотная структура материала достигается и при использовании суперпластификаторов и пеногасителей, а использование гидрофобизирующих добавок и редиспергируемых порошков сополимеров винилацетата и акрилата препятствует распространению воды через поры.

Для снижения растворимости гипса используют добавки, при взаимодействии с которыми гипс образует соединения с более низкой растворимостью чем у двухводного гипса. В качестве таких добавок производители чаще всего используют вещества, имеющие общий ион с сульфатом кальция, либо гидравлические вяжущие совместно с активными минеральными добавками.

Однако практическое использование данных положений сопряжено с такими сложностями, как ограниченные объемы производства гипса α -полугидрата и ангидрита, высокая стоимость используемых полимерных добавок, а также уменьшение прочности при использовании добавок, снижающих растворение гипса.

Одним из путей практического решения проблем прочности и водостойкости бетонов и растворов на основе гипсовых вяжущих является использование модификаторов гипсовых вяжущих.

6.2. Конструктивные решения

В основной своей массе, современные фасадные системы представляют собой многослойную конструкцию, состоящую из несущего каркаса и фасадных панелей, предназначенную для придания зданию современного архитектурного облика и радикального повышения уровня тепло- и шумозащиты наружных стен. Долговечность таких конструкций исключает дальнейшие затраты на ремонт фасадов здания и сохранения его внешнего вида за счет стойкости покрытия к атмосферным и техногенным воздействиям.

Во многих случаях, технологии, используемые при изготовлении современных фасадных систем, можно смело относить к категории инновационных. Это технологии, связанные с развитием стройиндустрии, выпуском материалов, машин и строительных механизмов.

Наиболее важными факторами при выборе конструктивной системы энергоэффективных ограждающих конструкций можно считать:

1. стоимость компонентов системы;
2. широту выбора цветов и фактур финишного покрытия или облицовки;
3. цветовую стойкость финишного покрытия или облицовки;
4. механическую прочность, долговечность системы;
5. соответствие требованиям пожарного надзора;
6. сопровождение проекта на всех стадиях работ (подготовка проектной документации, обучение персонала, технический надзор за монтажом).

За годы, прошедшие с середины 90-х, привычными фасадными системами на строительных площадках России стали системы теплоизоляции с тонкими штукатурными слоями (ССТИ) и фасадные системы с вентилируемым зазором («вентсистемы»). Появились современные конструкции из стекла («светопрозрачные» фасады). Как ни странно, но различные виды «эффективных кладок», так же можно и нужно рассматривать как фасадные системы (рисунок 4).

Доли фасадных систем в 2008 году по России в целом

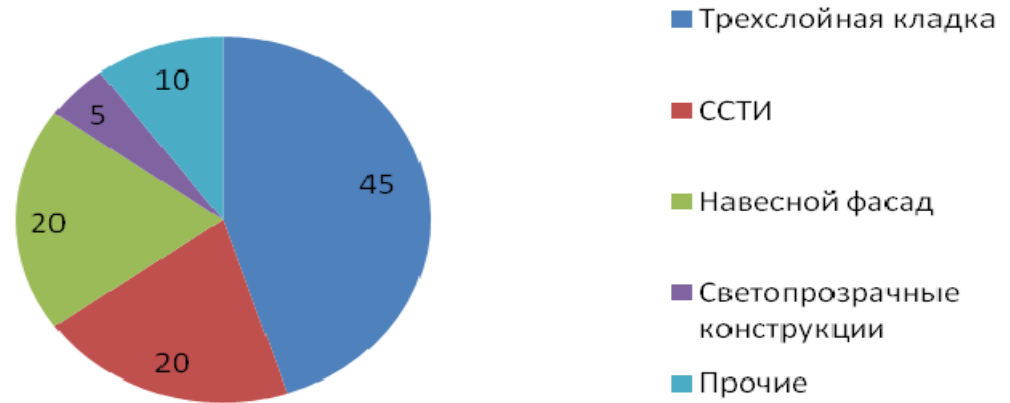


Рисунок 4 – Доли фасадных систем

В настоящее время для утепления и внешней отделки зданий применяют разные фасадные системы, которые можно разделить на:

- системы со штукатурными слоями;
- системы с облицовкой кирпичом или другими мелкоштучными материалами;
- системы с защитно-декоративными экранами.

Поведение «светопрозрачных» конструкции на данный момент мало изучено.

Вентилируемые фасады (рисунок 5) впервые появились в Германии в 50-х гг. прошлого столетия, но вскоре стали широко использоваться в строительстве. Навесной фасад конструктивно состоит из фасадного экрана (облицовочный материал), теплоизоляционного материала, и несущей конструкции, которая крепится к стене таким образом, чтобы обеспечить воздушный промежуток между экраном и стеной. Именно наличие воздушного зазора кардинально отличает его от других типов фасадов, так как благодаря перепаду давлению воздуха, он работает по принципу действия «вытяжной трубы». В результате из конструкции в окружающую среду удаляется атмосферная и внутренняя влага. В зимний период воздушный промежуток снижает теплопотери, выполняя роль температурного буфера. Летом наличие вентилируемой зоны препятствует накоплению в здании избыточного тепла.

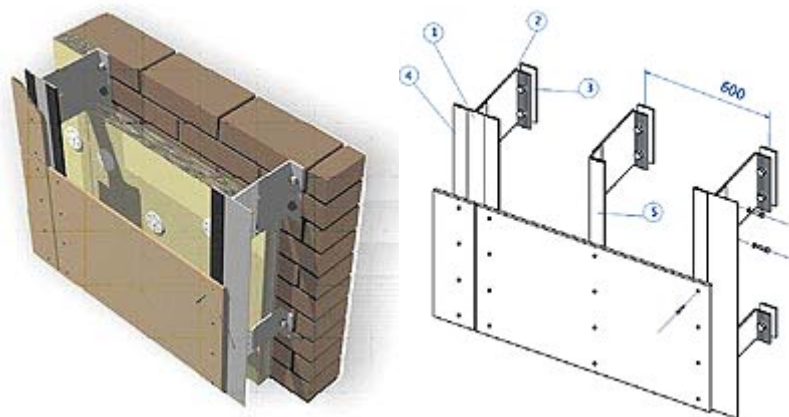


Рисунок 5 – Фрагмент вентилируемого фасада: 1 - вертикальная направляющая, 2 – кронштейн, 3 - паронитовая подкладка (терморазрыв), 4 - резиновый уплотнитель, 5 -

дополнительная направляющая для плит большого размера (устанавливается с шагом 600мм.)

Сегодня многие строительные компании используют вентилируемые фасады, как при возведении новых зданий, так и при реконструкции старых. Это связано с определёнными преимуществами, которые дают вентилируемые фасады:

- широкие возможности по использованию современных фасадных отделочных материалов;
- высокая тепло- и звукоизоляция;
- защита стены от атмосферных воздействий;
- отсутствие повышенных предварительных требований к поверхности несущей стены, система сама позволяет выравнять дефекты и неровности;
- длительный безремонтный период (25-50 лет, в зависимости от применяемого материала).

Важно отметить, что в случае применения «вентфасадов» мы имеем дело с конструкциями, чаще всего выполненными из алюминиевых сплавов или оцинкованной стали, которые, как известно, подвержены влиянию коррозии. Со временем разрушительное действие коррозии обязательно начнет сказываться, и не исключено, что в один из моментов произойдет отказ системы. Поэтому вентилируемые фасады, так же как и светопрозрачные конструкции, требуют большого внимания и специальных процедур наблюдения и контроля в «постстроительный» период.

Фасадные системы из трехслойных стеновых панелей с полужесткими и жесткими минераловатными плитами и из плит беспрессового пенополистирола стали применяться в нашей стране с 1970-72 гг. Наружный армированный бетонный слой толщиной 50-60 мм, облицованный керамической плиткой надежно защищает утеплитель от атмосферных воздействий. Внутренний несущий железобетонный слой, вместе с отделочным слоем имеет сопротивление паропроницанию не ниже $1,6 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, существенно превышающий аналогичный параметр наружного слоя панели. Поэтому за годовой цикл не происходит накопления влаги. Влага, накопившаяся в отопительный период года, полностью удаляется в весенне-летний интервал года. В результате обеспечения рациональной паропроницаемости и тепловой инерции наружного бетонного облицовочного слоя, трехслойная панель устойчива к температурно-влажностным воздействиям в осенне-зимний и зимне-весенний интервалы года. Современные фасадные системы из трехслойных панелей, созданные на базе накопленного многолетнего опыта крупнопанельного домостроения содержат объёмные элементы ограждений, эркеров, лоджий и других частей зданий, изготавливаемых на ДСК. Надёжность и долговечность современных фасадных систем зданий из трехслойных элементов обеспечивает безопасные санитарно-гигиенические условия для проживания и окружающей среды.

Теплоизоляция фасадов с применением утеплителя из минеральной ваты или ППС, с нанесенным поверх тонким штукатурным слоем (рисунок 6), известна в Европе с середины прошлого века. В России она стала внедряться лет на 40 позже. Этот способ отлично зарекомендовал себя.

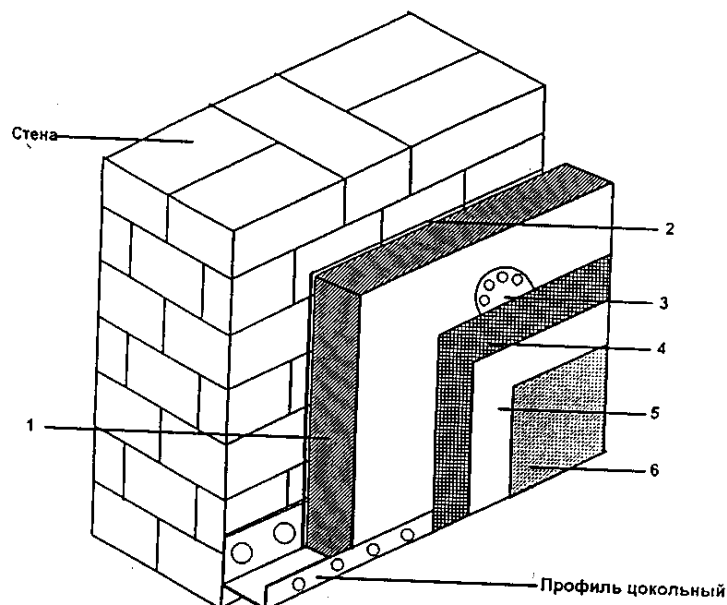


Рисунок 6 – Фрагмент фасада ССТИ: 1 – плиты теплоизоляционные; 2 – полимерная клеящая масса для приклеивания плит к любой стене; 3 – дюбели для дополнительного крепления плит; 4 – предохраняющий слой из полимерной клеящей массы, армированный сеткой из стекловолокна; 5 – грунтовка; 6 – полимерное штукатурное покрытие произвольного цвета и фактуры.

Сочетание доступности, технологичности, эффективности теплоизолирующих свойств, высокого качества готовых фасадов и широкой палитры эстетических возможностей (разнообразие цвета, фактуры) делает их применение безграничным.

Такая популярность теплых штукатурных фасадов объясняется неоспоримыми достоинствами:

1. Эффективное повышение теплоизоляционной способности стен и устранение «мостиков холода» позволяет добиться снижения затрат на монтаж и эксплуатацию систем отопления (экономия – до 70 %) и кондиционирования (экономия – до 50 %). Расходы, понесенные на дополнительное утепление стен, окупаются уже через несколько лет.

2. Небольшой вес, как правило, не влияющий на несущую способность конструкции здания. Это позволяет сократить затраты на строительство новостроек за счет уменьшения толщины стен здания (экономия до 40-50 % кирпича и кладочного раствора) и снижения временных и денежных затрат на возведение фундамента. При реконструкции и реставрации сооружений этот показатель становится особенно важным. Даже минимальное увеличение веса конструкции памятника старины может иметь разрушительные последствия.

3. Полное обновление фасада здания при сохранении его архитектурных форм и имеющихся деталей фасада (карнизы, пилястры и т.п.). материал может укладываться на любую конструкцию фасада, скрывая при этом все неровности и огрехи.

4. Уменьшение толщины внешней стены позволяет получить больший процент полезной площади здания. Это особенно актуально сейчас, когда стоимость недвижимости постоянно растет.

5. Штукатурные фасады повышают показатели звукоизоляции и микроклимата в помещении. Сегодня недостаточная звукоизоляция здания может самым негативным образом сказаться на стоимости квадратного метра площади здания.

Штукатурные слои работают за счет адгезии к утеплителю. Все нагрузки передаются на утеплитель через тонкий контактный слой, который существует между

армированным базовым слоем и утеплителем. Поэтому для работы таких систем очень важно, какой утеплитель применяется, и какие растворные составы используются для создания базового слоя, то есть:

1. имеют ли они адгезию к подложке;
2. сможет ли затвердевший базовый слой воспринимать удар, сопротивляться образованию трещин, сохранять свои первоначальные характеристики при воздействии перепадов температур.

Любая фасадная система, в том числе и штукатурная, представляет собой «слоеный пирог», качество которого зависит от того, насколько точно соблюдаются технологии его изготовления. Нельзя рассчитывать на получение достойного результата, применяя несистемные материалы без учета возможности их взаимодействия с остальными составляющими фасадного «пирога» и не соблюдая при проведении работ технологических инструкций, разработанных изготовителем системы. С другой стороны, во многих случаях отказ системы происходит потому, что система неправильно эксплуатируется.

Трехслойную кладку (рисунок 7) следует рассматривать именно как систему, состоящую из слоев с различными физическими свойствами.

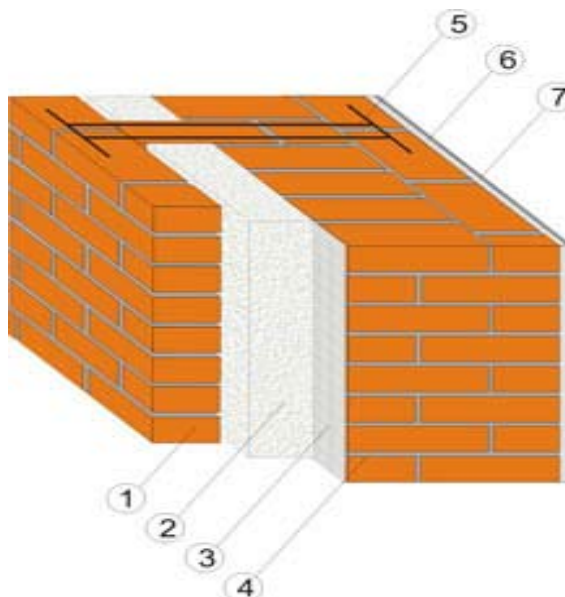


Рисунок 7 – Фрагмент трехслойной кладки: 1- лицевой кирпич, 2 - теплоизоляционная плита, 3 - слой грунтовки глубокого проникновения, 4 - кирпич полнотельный, 5 - армирующая рамка из проволоки диаметром 4мм, 6 - штукатурный слой, 7 - слой финишной шпаклёвки.

Полистиролбетон – легкий бетон с пенополистирольным наполнителем - является эффективным стеновым и тепло-изоляционным материалом для жилищного и гражданского строительства (рисунок 8)

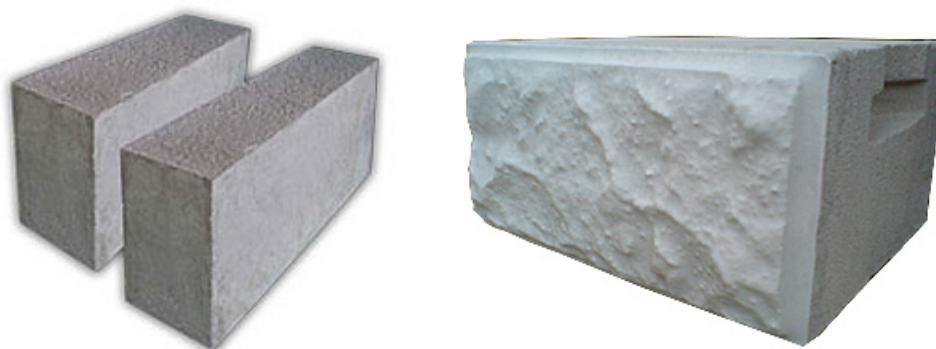


Рисунок 8 - Пенополистиролбетон.

В последние годы блоки из ячеистого бетона, а так же здания из монолитного ячеистого бетона набирают популярность в качестве конструкционного стенового материала (рисунок 9). Коттеджи и многоэтажные дома, построенные из ячеистого бетона, имеют лучшие тепловые характеристики по сравнению с кирпичными.



Рисунок 9 – Ячеистый бетон и его применение в конструкциях систем термоизоляции зданий

6.3. Распространенность основных фасадных систем

Настоящее исследование содержит данные, полученные в ходе исследования рынка систем утепления фасадов, проведенного ЗАО «Агентство строительной информации» в феврале – мае 2009 года.

Методика исследования.

1. Для описания ассортимента штукатурных и навесных фасадных систем и были запрошены сведения у всех производителей систем, чья продукция представлена на рынке

рассматриваемых регионов. Цены на системы и компоненты были уточнены в ходе интервью с компаниями – поставщиками.

2. Оценки емкости, потенциала, долей рынка рассчитывали на основе детальных интервью с основными игроками данного рынка. Кроме того, использованы уже имеющиеся в нашем распоряжении данные. Все данные об объемах продаж приведены на основании сведений представителей компаний. Информация подтверждена косвенными данными и сведениями, полученными в ходе исследований предыдущих лет.

3. Для получения сведений о предпочтениях потребителей из разных сегментов был проведен ряд интервью с сотрудниками компаний застройщиков, монтажных организаций и проектных компаний (или проектных отделов строительных фирм). Информация о предпочтениях частных лиц получена «косвенным способом», на основе результатов интервью с фирмами, занимающимися монтажом систем утепления, а также фирмами – поставщиками систем утепления.

География исследования.

Обобщающие объемные показатели (емкость рынка, динамика, доли) проанализированы как по России в целом, так и в разрезе укрупненных регионов. Детально изучены рынки Москвы и Московской области, и Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Также уделено внимание рынкам некоторых крупнейших городов (Нижнего Новгорода, Самары, Екатеринбурга и др.)

6.3.1. Системы утепления фасадов штукатурного типа

Штукатурные системы, представленные на рынке рассматриваемых регионов

На рынке России в 2008 году были представлены системы теплоизоляции штукатурного типа не менее чем 42 компаний. Большинство производителей получают техническое свидетельство Росстроя (далее ТС) на свои системы. На рынке представлена также продукция ряда производителей сухих смесей, предлагающих материалы, которые можно использовать при утеплении фасада – монтажные клеи для теплоизоляционных плит и фасадные штукатурки. В нашем исследовании мы учитываем «системные компании» - производителей, продвигающих систему теплоизоляции в целом. Это, во-первых, компании получившие сертификат на систему, во-вторых, производители систем не имеющие сертификата, но предлагающие комплексный подход к задаче теплоизоляции, в т.ч. поставку дополнительных комплектующих, в некоторых случаях - оценку и расчет проекта, консультирование и технический надзор за ходом выполняемых работ.

Как правило, компания, разработавшая систему утепления, производит часть компонентов этой системы. В отношении систем «мокрого» типа это, обычно, клеевые и штукатурные составы. Среди производителей теплоизоляционных материалов можно назвать только компанию «Rockwool», сертифицировавшую собственную систему «Rockfasade» несколько лет назад и компанию «Пеноплэкс», разработавшую в 2008 году систему совместно с производителем сухих строительных смесей «Юнис». Также необходимо отметить концерн «Кнауф», выпускающий как сухие строительные смеси для фасадной системы, так и пенополистирольные плиты.

Год назад мы уже отметили явный интерес к технологии утепления фасадов со стороны производителей общестроительных сухих строительных смесей. Если изначально разработкой систем теплоизоляции и производством материалов для них (сухих смесей или готовых акриловых/силикатных составов) начинали заниматься строительные фирмы, выполнявшие работы по ремонту и отделке фасадов или компании, поставляющие материалы для отделки фасадов, то собственники разработок, выведенных на рынок в 2007 – начале 2008 года - крупные российские заводы ССС. Свои системы штукатурной теплоизоляции предложили питерские компании «Сканэкс» и «Эм-Си Баухеми Раша», московские «Боларс», «Консолит» и «Юнис». Наконец на российский рынок фасадной

теплоизоляции вышли известные международные концерны, работающие в этой отрасли – «Saint-Gobain Weber» и «STO». Причем за прошедший год концерн Сен-Гобен достиг существенных успехов на российском рынке.

В прошлом году на рынок вышло еще несколько новых компаний, предлагающих систему теплоизоляции. Было открыто производство в Санкт-Петербурге компании «Арго-М», выпускающей продукцию под маркой Пионер. В 2008 году получено техническое свидетельство на систему немецкой марки ВІТЕХ (производство материалов на заводах в Москве и Екатеринбурге, выпускавших и ранее материалы для систем теплоизоляции других компаний). В Калининграде польская компания Alpol Gips, известная ранее как производитель общестроительных сухих смесей, стала предлагать материалы для системы теплоизоляции фасада. В С-Петербурге компания «Швейцарский фасад» стала работать с материалами из Швейцарии.

В прошлом году ушел с рынка ярославский производитель систем теплоизоляции - завод «Эверест». Прекратил деятельность один из пионеров рынка фасадной теплоизоляции - компания «Русхекк-Тисс».

Несмотря на сложившееся кризисное положение экономики и снижение строительной активности, на рынке продолжают появляться новые продукты для фасадной теплоизоляции. Уже в текущем году собственную систему скрепленной теплоизоляции предложила московская строительная компания «Кладезь», много лет занимающаяся монтажом систем из материалов Серпо. В Санкт-Петербурге проводит сертификацию своей системы компания «Стакковент» и рассчитывает занять существенную долю на рынке благодаря ноу-хау – использованию дренажных матов для выведения влаги из системы.

В таблице 2 представлены данные о системах. Все системы, перечисленные в таблице, имеют технические свидетельства Госстроя России. В таблице также указана примерная стоимость одного квадратного метра системы для глухой стены без учета стоимости утеплителя и монтажа.

В таблице 3 приведены сведения об использовании систем разных марок в некоторых крупнейших городах России. Мы видим, что в 2008 году в Москве были использованы системы не менее 33 компаний. В Санкт-Петербурге число представленных систем несколько меньше. По нашим данным, в прошлом году в городе устанавливались штукатурные системы не менее, чем 20 производителей.

6.3.2. Навесные системы с воздушным зазором

Системы навесных фасадов, представленные на рынке

В 2008 году в России были представлены системы навесных фасадов с воздушным зазором не менее, чем 70 компаний. Подавляющее большинство рассматриваемых в исследовании систем имеют технические свидетельства Росстроя на систему в целом, элементы подконструкции или облицовочные плиты.

Практически все разработчики предлагают несколько вариантов системы, которые отличаются друг от друга видом облицовки (керамогранит, композитные панели, металлокассеты и др.) и, соответственно, видом крепления. Помимо классической комплектации навесной системы представлены и не совсем обычные варианты. Так, например, система Полиалпан представляет собой трехслойные панели из пенополиуретана, которые крепятся на обрешетку. Облицовочные панели VINYLIT выполнены из винила.

Разработчик системы навесного фасада с воздушным зазором, как правило, производит некоторые компоненты системы. В большинстве случаев это элементы подконструкции, реже - облицовка. Подоблицовочную конструкцию предлагают 56 компании. Из тех компаний, кто предлагает собственную разработку навесной системы утепления, металлокассеты выпускают не менее 14 производителей, панели на основе

волоконно-цементных листов предлагают 15 компаний. Из разработчиков системы утепления только 3 занимаются выпуском композитных панелей – «Краспан», «СИАЛ», «Алюком» Несколько компаний в РФ занимаются только поставкой подконструкции, не комплектуя другие элементы системы и не выполняя монтаж системы на объектах. Среди таких компаний нужно упомянуть «Юкон Инжиниринг», «Диат», «Фестальпине Аркада Профиль», «Кемопласт» (поставляет австрийскую систему SPIDI MAX). Отметим отдельно компанию «Краспан», под маркой которой выпускается наиболее широкий перечень компонентов системы: композитные панели и металлокассеты, волоконно-цементные плиты, керамогранит, крепежные элементы.

В таблице 2-1 приведены данные о компаниях, предлагающих собственную разработку системы утепления, безотносительно к тому, какие компоненты системы они производят сами. Из числа производителей облицовки, имеющих сертификат на систему, приведены данные лишь о тех фирмах, продукция которых используется исключительно (почти исключительно) на фасадах. Информация о компаниях, выпускающих только облицовочные панели, предназначенные как для использования при отделке фасадов, так и для других целей (Alcotek, Alucobond, Max Exterior и др.) будет приведена позднее.

В таблице 2-2 собрана информация об использовании систем в крупнейших городах. В Москве применялись системы практически всех компаний. В Санкт-Петербурге монтировались навесные фасады не менее, чем 25 производителей.

6.3.4. Выводы

- в 2008 году в России было установлено около 10,7 млн. кв.м. систем утепления фасадов штукатурного типа и более 14,5 млн. кв. м.м навесных систем с воздушным зазором. Темп прироста рынка составил 16% по штукатурным фасадам и 23% по вентилируемым.

- стоимость материалов и работ по установке теплоизоляционных систем штукатурного типа составила около 21,1 млрд. рублей, рынок навесных систем теплоизоляции фасадов можно оценить примерно в 40,5 млрд. рублей.

- состав компаний-производителей, лидирующих по объемам установки (производству материалов для систем теплоизоляции) фасадного утепления остается неизменным на протяжении ряда лет. На рынке штукатурных систем среди лидирующих по объему работ марок большая часть представлена брендами зарубежного происхождения (Церезит, Текс-Колор, Стомикс), на рынке вентилируемых фасадов в группу лидеров входят, в основном, системы, разработанные российскими компаниями (Ю-Кон, Краспан и другие). С другой стороны, компоненты штукатурных систем под зарубежными марками выпускаются, в основном, на территории России.

- темп роста рынка регионов существенно различается. Наибольший темп прироста был отмечен в Центральном и Северо-Западном ФО (по обоим типам фасадов более чем на 50%), рынок штукатурных фасадов сильно вырос также в Сибирском регионе, а в Южном регионе более чем на 70% увеличились объемы монтажа навесных фасадов. Темпы роста и объемы рынков отдельных городов и областей могут существенно отличаться от показателей по региону в целом, во многом они зависят от наличия/отсутствия производства тех или иных систем в городе, интенсивности коммерческих усилий компаний-системодержателей, истории конкретного рынка.

- штукатурные системы применяются, в первую очередь, для утепления многоэтажных жилых зданий, в том числе при реконструкции, около трети объема приходится на малоэтажное загородное жилье.

- навесные системы с воздушным зазором используют, в первую очередь, на коммерческих зданиях, а также при утеплении городских жилых зданий. На частных заказах такие фасады применяют редко.

- В сегменте фасадов штукатурного типа наблюдается рост объемов установки систем на утеплителе из пенополистирола, в то время как доля фасадов с использованием минераловатного утеплителя падает.

- исходя из прогнозов снижения объема строительства на 15% в 2009 году и 10% в 2010 году и используя, полученный в ходе исследования коэффициент – количество квадратных метров фасадного утепления в расчете на одно здание, мы получили довольно оптимистичный прогноз по динамике рынка на ближайшие 2 года. По нашей оценке темп снижения объемов фасадной теплоизоляции составит около 11% в этом году и порядка 5% в 2010 году.

- В промышленных зданиях и коммерческих объектах (бизнес-центры, магазины) также чаще устанавливают навесные системы. Объемы фасадов жилых домов (вновь построенных или реконструированных) утепленных «мокрым» способом или навесной системой примерно равны.

- Большое распространение, по-прежнему, имеют ограждающие конструкции из ячеистых бетонов и легких полистиролбетонов.

Фасад здания выполняет несколько функций. Помимо того, что он является «лицом» всего дома и создает его имидж, он еще и сохраняет тепло внутри дома. Поэтому при фасадных работах нужно уделять внимание не только тому, насколько красивым будет выглядеть фасад, но и тому, насколько теплым он будет.

В практике современного строительства одной из важнейших задач на сегодняшний день является обеспечение качественной теплозащиты зданий, надежной и обеспечивающей энерго- и ресурсосбережение. В условиях выполнения поставленных задач основным стал вопрос о возможности получения новых высококачественных теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций, отвечающих требованию современных стандартов (в частности, требованиям СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»), с целью применения их при строительстве зданий и сооружений. Новый материал должен иметь следующие преимущества: быть простым в получении, производиться из доступных материалов, обладать улучшенными физико-механическими показателями и быть конкурентоспособным среди широкого ассортимента продукции мирового строительного рынка.

Современный этап развития науки о строительных материалах позволяет на практике воплотить в жизнь и усовершенствовать теорию о совместной работе бетонов и легких теплоизоляционных полимеров, объединенных в единое целое. Целью такого объединения является получение универсального «гибрида», обладающего всеми положительными свойствами исходных компонентов — цементного камня (как представителя бетонного начала) и пенополистирола — одного из современных теплоизоляционных материалов.

Современный опыт строительства убедительно показал высокие преимущества однослойных ограждающих конструкций.

Преимущества использования полистиролбетона:

1. Полистиролбетон (пенополистиролбетон) обладает очень низкой теплопроводностью ($\lambda=0,06-0,08$ Вт/м^{°С}) по сравнению с другими материалами, что удовлетворяет жестким требованиям по теплоизоляции зданий.
2. Полистиролбетон долговечен. Срок его службы не менее 100 лет.
3. Один блок из полистиролбетона заменяет 17 кирпичей стандартного размера и весит не более 22 кг.

4. Полистиролбетон (пенополистиролбетон) трудногорюч - группа Г, при оштукатуривании или облицовке кирпичом может применяться при строительстве зданий I категории огнестойкости и класса пожаростойкости СО, т.е. до 25 этажей включительно (совместное Заключение от 25.12.2000г. Госстроя РФ № 9-18/604 и МВД РФ № 20/22/4578).
5. Полистиролбетон характеризуется малой величиной усадки, не превышающей 1 мм/м.
6. Полистиролбетон обладает низкой сорбционной влажностью (что позволяет материалу сохранять низкие значения теплопроводности в условиях повышенной влажности, что особенно актуально для климатической зоны Центрального региона) и, как следствие, высокой морозостойкостью (F25-F50).
7. Полистиролбетон не является питательной средой для микроорганизмов и грибов, не подвержен гниению.
8. Полистиролбетон (пенополистиролбетон) является экологически безопасным материалом (из вспененного полистирола сегодня делаются продуктовые лоточки).
9. Полистиролбетон характеризуется высокой технологичностью строительства: блоки легко пилятся, гвоздятся (придание любой геометрической формы, устройство каналов для скрытой проводки).
10. Блоки из полистиролбетона имеют разнообразную форму, легко монтируются, увеличивая скорость возведения стен и перегородок в 10 раз.
11. Стены из блоков полистиролбетона (пенополистиролбетона) обеспечивают прекрасную звуковую изоляцию.
12. Полистиролбетон успешно применяется для создания ограждающих конструкций, пустотелых элементов для сборно-монолитных стен, полнотелых и пустотелых блоков. Кроме того при помощи полистиролбетона можно быстро и надежно утеплять фасады зданий, стены, полы, чердаки и кровли. Такое утепление в несколько раз снижает затраты на отопление, окупая их за один отопительный сезон.
13. Полистиролбетон имеет более низкую стоимость по сравнению с другими материалами.

Штукатурные теплоизоляционные системы состоят из двух основных слоев: утеплителя и защитно-декоративного штукатурного слоя. Эффективная наружная теплоизоляция позволяет значительно повысить теплосберегающие характеристики ограждающих конструкций. При этом стены возводятся из расчета по прочности. В результате достигается существенная экономия как капиталовложений в новое строительство (сокращаются трудозатраты и расходы на стеновые и другие материалы), так и на содержание дома (уменьшаются расходы на отопление и кондиционирование). Штукатурные системы утепления фасадов можно монтировать абсолютно на любую поверхность, будь то кирпич или фанера, а все системы, представленные на рынке, независимо от производителя, отличаются только компонентами утеплительных материалов.

Снижение энергопотребления эксплуатируемых зданий может быть достигнуто путем повышения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций. Одним из вариантов создания энергоэффективных стен, обладающих большим (по сравнению с кирпичными и панельными) сопротивлением теплопередаче при меньших объеме и массе, является использование ячеистого (пористого) бетона, который позволяет снизить расходы на обогрев помещения на 70-80%. Ячеистый бетон — один из немногих видов строительных материалов, который, в зависимости от заданной прочности и плотности, имеет широкий диапазон использования. Наиболее эффективным считается вариант стен с

наружным расположением утеплителя, но утепление из ячеисто-бетонных блоков является предпочтительнее, несмотря на его расположение с внутренней стороны помещения.

Энергосбережение в сфере применения ячеистого бетона достигается за счет таких физико-технических показателей материала, как пористость, плотность, теплопроводность, паро- и воздухопроницаемость.

За счет повышения пористости материала происходит снижение плотности бетона и повышение его теплоизоляционных свойств. С этим тесно связаны строительные и эксплуатационные свойства изделий, ограждающих конструкций и в целом всего изделия — масса стен, нагрузки на фундамент, теплопроводность, паропроницаемость, сорбционная влажность материала, теплозащитные свойства материала в ограждающих конструкциях, удельный расход энергии на отопление 1 м³ помещений, комфортность и экологичность здания.

По оценкам специалистов, ячеистый бетон — довольно перспективный материал, особенно если учитывать, что действующие в данное время требования будут еще повышаться, поэтому «теплые», дешевые и технологичные материалы, к числу которых относится и ячеистый бетон, будут завоевывать все большую популярность. Подтверждением этому служит использование ячеистого бетона не только в частном, но и в многоэтажном, а также в перспективном высотном строительстве.

7. Изучение возможности применения известных методик для оценки климатических воздействий на энергосберегающие системы термоизоляции зданий

Для изучения возможности применения известных методик для оценки климатических воздействий на энергосберегающие системы термоизоляции зданий необходимо рассмотреть конструкции ограждающих систем и их элементы. Углубленное рассмотрение этого вопроса позволяет выделить несколько видов конструкций и их элементов:

- однослойные стены из панелей и блоков из ячеистых бетонов со средней плотностью 500 кг/м³ и менее;
- слоистые стены с эффективным утеплителем, состоящие из двух, трёх и более слоёв;
- трёхслойные стены с эффективным утеплителем, монолитно связанным с внутренней и наружной поверхностью конструкции;
- однослойные стены из панелей и блоков из ячеистых бетонов на эффективном кладочном растворе;
- однослойные стены из панелей и блоков из ячеистых бетонов на эффективном кладочном растворе и оштукатуренные;
- слоистые стены с эффективным утеплителем с вентилируемым фасадом.

Существующие методики и стандарты позволяют достаточно точно оценить процессы, протекающие в ограждающих конструкциях, и свойства материалов их элементов при различных климатических воздействиях. Однако, цикличность таких воздействий, их уровень, очередность и т.д. требуют разработки новой методики и постоянного её совершенствования.

Госстрой и другие организации России наметили переход к более эффективным энергосберегающим строительным системам. Причем, наибольший эффект энергосбережения, как указывается в работах [1 - 4], может быть получен от повышения теплозащиты ограждающих конструкций.

Принятие СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника и СНиП 23-02-2003. Тепловая защита здания - задало высокие нормативные требования по теплозащите наружных

ограждающих конструкций зданий. Теперь, например, в Москве, требуемое сопротивление теплопередаче для ограждающих конструкций составляет от 1,97 до 3,13...3,15 м² °С/Вт [1, 3]. Тогда толщина однослойной стены из керамического кирпича для Московского региона, будет составлять от 1,56 до 2,5 метров.

Таким образом, были приняты современные требования к тепловой защите здания. В соответствии со СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита здания» в настоящее время к ограждающим конструкциям предъявляются три вида требований тепловой защиты;

- а) требования к приведенному сопротивлению теплопередаче отдельных элементов конструкций (таблица 4);
- б) санитарно-гигиенические требования;
- в) требования на удельный расход тепловой энергии (таблица 8, 9).

Причем для удовлетворения нормативных требований достаточно выполнения только двух требований по пунктам (а) и (б) или (б) и (в). Кроме того, в п. 5.13 накладывается ограничение на минимальное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающей конструкции. Требуемое приведенное сопротивление теплопередаче стен жилых домов для Москвы (по табл. 4) составляет 3,13 (м²С)/Вт. Требуемое приведенное сопротивление теплопередаче стен домов по санитарно-гигиеническому показателю для Москвы составляет 1,38 (м²С)/Вт. Кроме того, санитарно-гигиенический показатель содержит требование, согласно которому температура внутренней поверхности ограждения не должна быть ниже точки росы. Поэтому, минимальное приведенное сопротивление теплопередаче стен жилых домов для Москвы, вычисленное в соответствии с п. 5.13, составляет 1,97 (м²С)/Вт.

Сейчас в ограждающих конструкциях для выполнения теплотехнических требований применяются эффективные теплоизоляционные материалы. К ним относятся: минеральная вата, пеностекло, пенополистирол, пенополиуретан. Известно, что использование многослойных материалов [2, 4] ведёт к снижению однородности стены. Для расчета толщины стены применяются следующие коэффициенты [1]: для однослойных конструкций – 0,9; для двухслойных – 0,8; трехслойных и более – 0,7. В работах [4 - 12] К.И. Кириллов указывает, что чем ниже коэффициент однородности, тем выше будет термическое сопротивление, принимаемое в расчете, и тем более привлекательным и перспективным является разработка наружных, однослойных однородных ограждающих конструкций зданий, соответствующих нормативным требованиям по теплозащите. Задачей технологий с применением цементных штукатурных растворов являются обеспечение высокого уровня качества применяемых защитно-декоративных покрытий и их стабильность. Высокие технологические и эксплуатационные параметры могут быть обеспечены за счет использования в цементных растворах эффективных заполнителей.

Широко используют штукатурные растворы, обладающие высокими средней плотностью, теплопроводностью и паропроницаемостью при существенной водопотребности, что нарушает теплотехническую однородность ограждающей конструкции и приводит к утолщению наружных стен.

Решением задачи является повышение технологических и эксплуатационных свойств цементных растворов на основе полых стеклянных микросфер – ПСМС, что достигается путем обеспечения нормального паропереноса, исключения накопления влаги в конструкции стены, повышения теплоизоляционных свойств ограждающей конструкции при значительном увеличении прочности штукатурного раствора, уменьшении его средней плотности и водопоглощения при сохранении требуемой морозостойкости.

В настоящее время энерго- и ресурсосбережение – одна из важнейших проблем современного строительства. Строительство требует использования кладочных и тампонажных растворов. Однако традиционные кладочные и штукатурные растворы

обладают не достаточной однородностью по плотности, низкую прочность за счёт высокого В/Ц.

Решение проблемы строительства эффективных гражданских объектов может быть достигнута использованием современных строительных систем стен, сверхлегких цементных кладочных и штукатурных растворов, которые имеют высокие реологические свойства и однородность структуры, обеспечивают высокую эксплуатационную надежность за счёт применения полых стеклянных микросфер (ПСМС), суперпластификатора (СП) или гиперпластификатора (ГП).

8. Разработка принципов создания эффективных энергосберегающих систем термоизоляции зданий

Интенсивное развитие области разработки и производства сухих строительных смесей для монтажных и отделочных работ, а также строительных растворов на основе смесей, диктуют современные требования, предъявляемые к эффективным строительным материалам. Темпы современного строительства требуют все новых идей, разработок, технологий в области создания новых актуальных в применении материалов. Сухие строительные смеси входят в группу перспективных стройматериалов и стараются занять достойное место среди прочих новаций в области строительства.

Сухие строительные смеси в настоящее время находят все большее применение в строительстве для монтажных и отделочных работ, а также для санирования и ремонта зданий. Происходит это благодаря ряду преимуществ по сравнению с применением товарных растворных и бетонных смесей централизованного или при помощи другой техники приготовления, которые имеют ряд недостатков:

- повышенный расход вяжущего из-за неудовлетворительного качества инертных заполнителей на 10...15 %;
- отсутствие возможности порционной подачи растворов потребителю;
- разрыв технологического процесса производства работ по времени из-за вынужденных простоев бригад рабочих в результате сбоя графиков поставки растворных или бетонных смесей на строительные объекты;
- ухудшение технологических свойств товарных смесей ввиду отсутствия полной гарантии их нерасслаиваемости в процессе транспортирования и трудностей, связанных с необходимостью изготовления многокомпонентных составов и точной дозировки в этом случае малых количеств различных добавок.

Эксплуатация крупных заводов по производству товарных бетонных и растворных смесей становится неэффективной вследствие повышения транспортных расходов из-за большого радиуса обслуживания. Бетоносмесительные заводы и узлы, как правило, сосредоточены в достаточно больших промышленных городах, следовательно, малые города и населенные пункты лишены пользоваться услугами этих предприятий.

В силу этих и многих других причин, возникла необходимость нахождения альтернативы товарным бетонным и растворным смесям. Так приобрели широкое распространение разработка и производство сухих строительных смесей различного назначения.

Целями технологий с применением сухих строительных смесей являются обеспечение высокого уровня качества и его стабильности, легкая переработка продуктов при высокой производительности труда, оптимизация затрат на строительномонтажные работы и транспортировку и использование стройматериалов. Но главной задачей является достижение свойств продукции, которые соответствовали бы требованиям готовых объектов, а также на определенных этапах строительных и отделочных работ:

необходимой пористости, прочности, паропроницаемости, совместимости растворной смеси с материалом.

Сухие строительные смеси – сложный по составу многокомпонентный материал, но, несмотря на это имеют стабильный состав, гарантирующий заданную марку и другие технические характеристики. Для этого необходимо обеспечить точную дозировку компонентов и их эффективное перемешивание в специальных смесителях. Современные сухие строительные смеси содержат необходимые добавки (пластифицирующие, ускорители и замедлители схватывания, водоудерживающие, позволяющие работать при отрицательных температурах, и др. в зависимости от применения), которые улучшают технологические и эксплуатационные свойства материала и конструкции в целом. Их использование позволяет продолжать строительный процесс практически в любых условиях, а явным удобством является то условие, что возможно приготавливать рабочие растворы порциями в расчете на необходимый объем работ. Также повышается уровень механизации работ, благодаря чему снижается численность рабочих и повышается культура производства. Уменьшаются факторы, отрицательно влияющие на состояние окружающей среды [32-45].

Рассматривая строительные растворы на основе современных сухих строительных смесей, необходимо подчеркнуть следующую отличительную особенность – возможность использования в виде тонкого слоя. Область их применения довольно широка: например, для выравнивания поверхностей под побелку, окраску и оклейку обоями, для приклеивания облицовочных плит и газобетонных блоков, для выравнивания бетонных полов под линолеум, паркет и ковровые покрытия, а также для создания тепло- и гидроизоляции ограждающих конструкций.

При более детальном рассмотрении основных показателей сухих строительных смесей и растворов на их основе, возникает вопрос об улучшении свойств этого материала. Потребность в повышении его качества и общим тенденциям в создании современных сверхлегких материалов требует создания сверхлегких материалов из сухих смесей [46-54]

В настоящее время используют сухие смеси и цементные растворы на их основе, обладающие высокими средней плотностью и теплопроводностью, что приводит к снижению теплотехнической однородности ограждающей конструкции, и, как следствие, утолщению наружных стен. Существующие облегченные кладочные и штукатурные растворы из сухих смесей частично решают эту проблему, но снизить их среднюю плотность ниже 1000 кг/м^3 не удастся из-за высокой водопотребности и расслаиваемости.

Применяемые сухие смеси, в том числе и облегченные, могут расслаиваться при транспортировке и хранении, поэтому не обладают желаемой стабильностью и однородностью по свойствам. При применении используемых ингредиентов сухих смесей нельзя получить цементный раствор любого назначения со средней плотностью менее 1000 кг/м^3 .

Решением данной проблемы может стать применение в строительстве кладочных и штукатурных растворов из сухих смесей на основе полых микросфер, в том числе и стеклянных.

Введение в состав сухой смеси полых стеклянных микросфер позволит получить сухие смеси со стабильными во времени свойствами и растворы с плотностью менее 800 кг/м^3 . Получение такого материала и его использование помимо снижения теплопроводности, приведет к улучшению совместимости растворной смеси с материалом конструкции, повышению однородности ограждающей конструкции и многих других свойств и показателей данного вида материала.

Существуют научно-технические предпосылки повышения теплозащитных качеств теплоизоляционных кладочных и штукатурных растворов из сухих смесей для конструкций стен при использовании в качестве тонкодисперсного теплоизоляционного

наполнителя полых стеклянных микросфер. Подобная клеящая композиция должна отвечать всем необходимым требованиям государственных стандартов РФ. С принятыми в настоящее время более жесткими нормативными требованиями повышения теплозащитных качеств наружных ограждающих конструкций, толщина самой ограждающей конструкции увеличена в сравнении с прежними требованиями. Вследствие этого приобрели широкое распространение многослойные ограждающие конструкции, но их применение ведет к снижению теплотехнической однородности.

Таким образом, наиболее привлекательным и перспективным является разработка наружных, однослойных ограждающих конструкций зданий, соответствующих нормативным требованиям по теплозащите. Для этого необходим переход к более эффективным энергосберегающим архитектурно-строительным системам. Причём, наибольший эффект энергосбережения может быть получен от повышения теплозащиты ограждающих конструкций.

При использовании в качестве штукатурного и кладочного раствора цементного материала из сухих строительных смесей с полыми стеклянными микросферами, повышение теплотехнической однородности стены. Будет обеспечено повышение термического сопротивления за счёт одинаковых коэффициентов температурного линейного расширения и теплопроводности и теплотехнической однородности.

В настоящее время все чаще используется современная перспективная технология – «Системы наружной теплоизоляции фасадов», позволяющая значительно снизить затраты на отопление и кондиционирование и одновременно снизить затраты на строительство за счет уменьшения толщины стен и облегчения фундамента, при обеспечении высокой звукоизоляции и возможности декоративной отделки с созданием архитектурных форм.

Наиболее популярной системой для утепления и отделки фасадов является система скрепленной теплоизоляции. Она имеет следующую схему: – ограждающая конструкция – клеевой состав – плиты утепления – высокопрочные дюбеля – армирующая сетка – выравнивающий или клеевой состав – декоративно-штукатурный слой.

При правильно подобранной толщине утеплителя и качественной изоляции конструкции с внешней стороны, материал несущей стены всегда будет оставаться в сухом состоянии, что обеспечит наиболее комфортные условия в помещении здания. В свою очередь правильно подобранные материалы обеспечивают способность сохранения теплозащитных, а также прочностных свойств конструкции при циклических знакопеременных воздействиях на нее (с учетом особенности климатических условий в нашей стране). Необходимо обеспечить нормальный пароперенос, исключить накопление влаги в конструкции стены, обеспечить требуемое сопротивление теплопередаче. Конструкция должна обладать тепловой однородностью.

Рассмотрим заключительный этап устройства системы наружной теплоизоляции – нанесение на армирующий состав защитно-декоративного покрытия. При использовании штукатурных растворов на основе сухих смесей можно отказаться от нанесения выравнивающего состава (грунтовки) на армирующий слой. Однако при использовании структурных покрытий на синтетических смолах, применение выравнивающего слоя обязательно. В сухие смеси, предназначенные для защитно-декоративного покрытия, кроме дисперсионных полимерных порошков и эфиров целлюлозы, необходимо введение гидрофобизирующих и порообразующих добавок, придающих покрытию одновременно и водоотталкивающие, и паропроницаемые свойства [55-71].

Введение в смесь полых стеклянных микросфер (ПСМС) позволит получить двойной эффект: с одной стороны имеется значительное увеличение прочности штукатурного раствора при уменьшении его средней плотности и уменьшении водопоглощения, с сохранением морозостойкости, а с другой стороны ПСМС

используются как тонкодисперсный теплоизоляционный наполнитель, который снижает теплопроводность.

Введение микросфер создает равномерно распределенную в цементной матрице ячеистую структуру, внутри которой полые микросферы окаймляют поры. Процесс коррозии происходит на поверхности стенок микросфер. Он упрочняет контактную зону за счет образования водонерастворимых соединений и перехода ионов Ca^{2+} в стекло стенок микросфер взамен ионов натрия. Прочность и трещиностойкость повышается по мере растворения стенок микросфер, что приводит к уменьшению дефектов структуры и, в конечном счете, – к ликвидации контактной зоны «полая стеклянная микросфера - цементная матрица». При этом увеличивается долговечность цементного камня и надежность всей системы в целом.

Таким образом возможно решение следующих задач: улучшение эксплуатационных свойств фасадных систем и срока службы декоративного покрытия, что значительно снижает затраты на содержание системы, повышение качества материалов, что соответствует общим тенденциям в создании современных сверхлегких материалов, повышение теплозащитных качеств ограждающих конструкций, что обеспечивает наибольший эффект энергосбережения.

Гарантийный срок службы полимерных утеплителей составляет не более 15...25 лет. В диссертации [4] автор обобщил научно-техническую литературу. Он указывает, что за один отопительный сезон пополнение влаги в конструкциях может достигать 20 %. Более того, увлажнение жестких минераловатных плит средней плотностью 150 кг/м^3 повышает теплопроводность на 8 %, а у пенополистирольных плит – на 4 %. Циклические изменения температуры и влажности за 15-летний период эксплуатации приводят к снижению прочности пенополистирола более чем на 10 %, теплозащитных свойств – на 35 %. На основании этих данных автор [4] делает вывод о том, что в последнее время для строительства жилых зданий лучше использовать однослойные ограждающие конструкции плотностью до 500 кг/м^3 .

Известно, что изменение влажности приводит к появлению влажностных деформаций. Причем, это во многом зависит от высокой паропроницаемости утеплителей. Кроме того, при быстром высыхании цементных мелкоштучных изделий и раствора, имеющего более высокую среднюю плотность, проявляются деформации усадки. Это приводит к появлению трещин, повышению водопоглощения, снижению прочности и т.п.

Наиболее эффективными однослойными ограждающими конструкциями могут выступать материалы, имеющие среднюю плотность менее 500 кг/м^3 . По данным Ю.М. Баженова, Г.И. Горчакова, В.Г. Гагарина, В.Г. Микульского, Г.П. Сахарова, Д.В. Орешкина, В.А. Перфилова, К.И. Кириллова [2, 4, 7, 13, 14, 15, 16] таким показателем может соответствовать материалы из ячеистых бетонов, пеностекла и цементных материалов с полыми микросферами. Однако материалы из ячеистого бетона такой плотности имеют минимально предельную для таких плотностей прочность. Как считает автор [4] снижение прочности ниже самонесущей способности стенового материала невозможно.

В настоящее время монолитность конструкций из мелкоштучных блоков осуществляется кладочными составами на минеральных (строительные цементные растворы и цементные клеи), минерально-полимерных и полимерных связующих [4, 17 - 21]. Для повышения прочности сцепления к подложке цементных композиций в них вводятся полимерные добавки [4, 21].

Многие авторы отмечают, что традиционные цементно-песчаные кладочные растворы для кладки из ячеистобетонных блоков не обеспечивает необходимых теплотехнических требований ограждающих конструкций [2, 4, 17]. Более того, они не создают однородных ограждающих конструкций мелкий блок – кладочный раствор. Если к ним добавить еще и штукатурный слой из цементно-песчаного раствора, то

неоднородность конструкции еще более усилится. У составляющих такой конструкции разные коэффициенты линейного расширения [4, 14].

В современном строительстве применяются теплозащитные клеевые составы [4, 17, 21]. Они должны быть дешевыми, экологически чистыми, обеспечивать высокую кинетику набора прочности, быть морозостойкими, а также иметь соответствующий комплекс реологических свойств [4, 17- 22]. Клеевые композиции можно разделить на полимерные (на основе ПВА, основе стирольнокаучукового латекса СКС – 65ГП), а также жидкостекольные, цементные и др.

Недостатками полимерных клеев являются невозможность прогнозирования набора прочности клеевого соединения, непригодность для склеивания плотных материалов, неспособных к поглощению избыточной влаги. Кроме того, эти композиции обладают недостаточными водо- и огнестойкостью [4, 14,21].

Другим подклассом полимерных клеевых композиций являются составы на основе органических растворителей [4, 21 - 27]. Эти клеевые композиции обладают хорошими адгезионными свойствами. К их недостаткам можно отнести: многокомпонентность, низкую водостойкость, горючесть, токсичность, экологическую опасность [4].

Эпоксидные клеи используются для склеивания пористых и особо плотных строительных материалов (металл, стекло, тяжёлый бетон) [4, 22, 26]. Недостатками эпоксидных клеев является высокая стоимость, их чрезмерная прочность. Полимерные связующие обладают высокими адгезионными, прочностными и технологическими свойствами, имеют сравнительно низкую теплостойкость, высокую стоимость и вредны при изготовлении. Поэтому лучше использовать минеральные вяжущие в клеевых композициях [4, 21, 22, 23].

Так, например, клеевая композиция на жидком стекле, в работе [28] представлена композиция на основе натриевого жидкого стекла, отверждаемая белилосодержащим феррохромовым шлаком и портландцементом. Она предназначалась для склеивания изделий из особо легких бетонов, имела быстрый набор прочности, стойкость в эксплуатационных условиях, повышенную теплозащитную способность [4, 28]. Недостатком композиций на основе жидких стекол является высокое содержание воды, которая испаряется на воздухе и вызывает влажностные и деформации усадки. Кроме того, жидкостекольные клеевые системы вредны, дороги и требуют специальной технологии применения, имеют нестабильные сроки схватывания [4, 21].

Наиболее эффективными композициями для кладки блоков из особо легких бетонов являются клеевые составы на основе портландцемента [29, 30, 31]. Они отличаются невысокой стоимостью, возможностью модификации смесей, экологической чистотой и технологичностью [4]. Высокая дисперсность используемых в цементных клеях наполнителей увеличивает воду затворения, что приводит к расслаиванию смеси, повышает пористость и снижает прочность. Основными преимуществами подобных композиций являются: достаточная прочность сцепления с подложкой; высокая атмосферостойкость, достаточная водо- и морозостойкость; невысокая стоимость; технологичность [4].

К недостаткам многих облегченных кладочных материалов можно отнести большое количество компонентов, низкую прочность при сжатии и изгибе: особенно с плотностью менее 700 кг/м^3 [4]. Такие материалы значительно уступают по прочности традиционным стеновым блокам и существенно ниже требуемой – 1 МПа.

В своих работах К.И. Кириллов [4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12] обосновал получение сверхлегких цементных кладочных растворов с высокими реологическими свойствами, высокой однородностью структуры за счет применения в их составе полых стеклянных микросфер и суперпластификатора. Им получены и оптимизированы составы кладочных растворов с полыми стеклянными микросферами с помощью математического планирования эксперимента и обработки его результатов. Определены свойства.

Выяснено, что при средней плотности раствора $0,7 \text{ г/см}^3$ средняя плотность камня в сухом состоянии – $0,403 \text{ г/см}^3$, коэффициент теплопроводности $0,085 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$, коэффициент паропроницаемости – $0,0498 \text{ мг/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$. Причем, это значение в 4 раза ниже, чем у ячеистых бетонов такой плотности за счет паронепроницаемых микросфер. Прочность при сжатии в возрасте 28 сут. была – $3,2 \text{ МПа}$, при изгибе – $1,3 \text{ МПа}$, водопоглощение по массе – $67,4 \%$, морозостойкость – 25 циклов. Более того, автором установлено, что кладочные растворы с полыми стеклянными микросферами – ПСМС и суперпластификатором – СП по сравнению с традиционными (на основе вспученного перлитового песка – ВПП и вспученного вермикулитового песка – ВВП) при одинаковой плотности ($1,14 - 1,18 \text{ г/см}^3$), имеют выше прочность при сжатии в 10 раз, время расстилаемости в 2 раза, пластическую прочность в $4,8...8$ раз, ниже в 3 раза водопоглощение и в 4 раза – влажность. Им установлено, что нельзя получить кладочный цементный раствор плотностью менее 1000 кг/м^3 на основе ВПП и ВВП. Разработанный К.И. Кирилловым кладочный материал имеет прочность сцепления растворов с микросферами с керамическим кирпичом более чем в 20 раз превышает такие значения у затвердевшего раствора с перлитом и вермикулитом за счет значительно более низкого В/Ц раствора и более плотной структуры камня. Водоудерживающая способность растворов с ПСМС составляет более 90% , что происходит за счет поверхностной активности микросфер, а также высокой однородности по средней плотности.

Обобщение научно-технической литературы облегченных кладочных растворов для конструкций стен из мелкоштучных блоков позволит разработать однородные штукатурные растворы с полыми стеклянными микросферами, изучить их свойства. Свойства таких растворов будут не только соответствовать стандартам РФ, но и превышать требуемые показатели за счет стабильности полых стеклянных микросфер, их поверхностных, гранулометрических и физико-механических свойств.

Изучение научно-технических предпосылок позволило высказать две **научных гипотезы**. Было предположено, что использование в качестве кладочного раствора сверхлёгкого цементного материала с полыми стеклянными микросферами позволит повысить однородность стены, термическое сопротивление за счёт снижения коэффициента теплопроводности, а также увеличит время его расстилания на подложке и водоудерживающую способность.

Вторая научная гипотеза – о повышении эффективности цементных растворов. Традиционные облегченные цементные штукатурные растворы на вспученном вермикулитовом и вспученном перлитовом песках имеют большую водопотребность, расслаиваются, обладают низкой прочностью, высокой паропроницаемостью. Было предположено, что использование цементного штукатурного раствора с полыми стеклянными микросферами позволит повысить теплотехническую однородность стены, значительно увеличить прочность, термическое сопротивление, снизит теплопроводность и паропроницаемость за счет использования суперпластификатора, большой удельной поверхности, шаровидной формы и низкой средней плотности полых стеклянных микросфер.

Это позволит снизить трудовые и энергетические затраты, повысить эксплуатационную надежность, увеличить теплотехнические показатели стен и повысить однородность раствора и теплотехническую однородность стены. Кроме того, низкая паропроницаемость даст возможность равномерно снижать влажность штукатурного раствора, что приведет к снижению влажностных и усадочных деформаций.

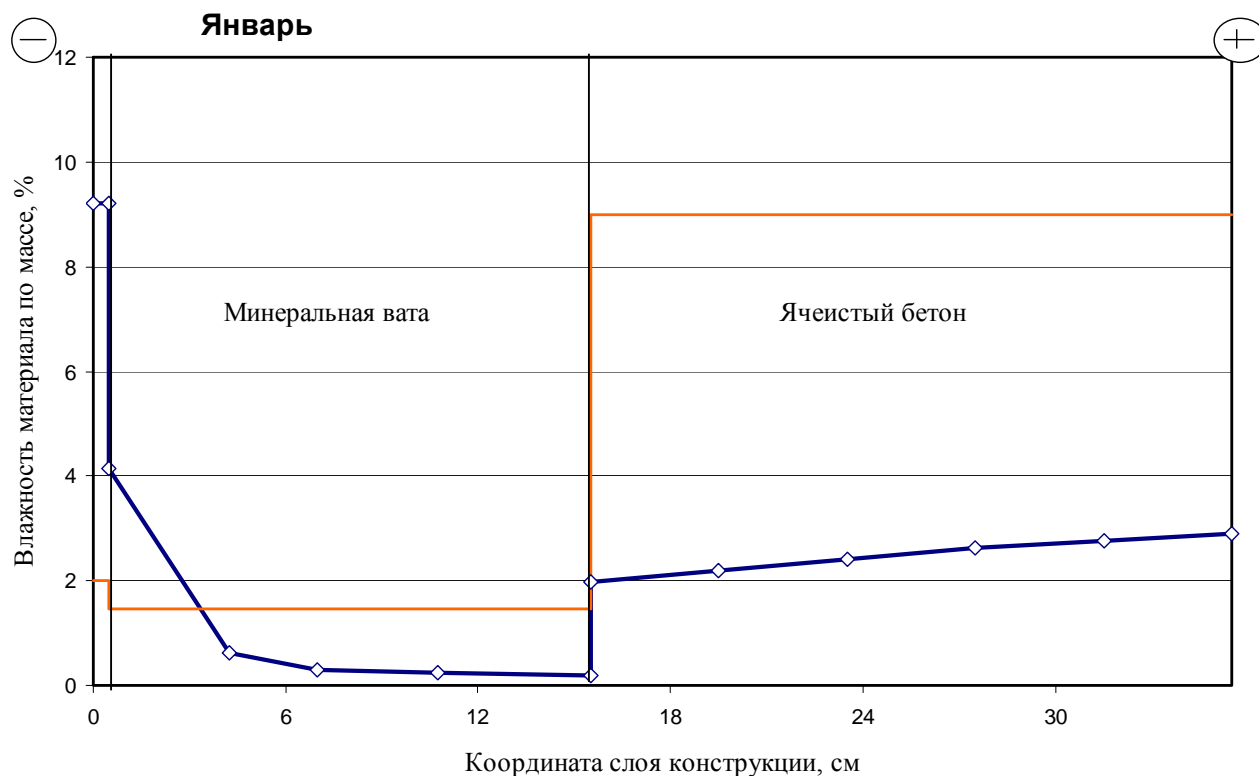
9. Определение и анализ показателей энергетической эффективности и теплотехнических показателей конструкций зданий при различных температурно-влажностных режимах

Теплоизоляционными называют строительные материалы и изделия, предназначенные для тепловой изоляции конструкций зданий и сооружений, а также различных технических применений. Основной особенностью теплоизоляционных материалов является их высокая пористость и, следовательно, малая средняя плотность и низкая теплопроводность.

Применение теплоизоляционных материалов в строительстве позволяет снизить массу конструкций, уменьшить потребление конструкционных строительных материалов (бетон, кирпич, древесина и др.). Теплоизоляционные материалы существенно улучшают комфорт в жилых помещениях. Важнейшей целью теплоизоляции строительных конструкций является сокращение расхода энергии на отопление здания. Один из путей снижения энергозатрат на отопление зданий - повышение термического сопротивления ограждающих конструкций за счет применения эффективных теплоизоляционных материалов.

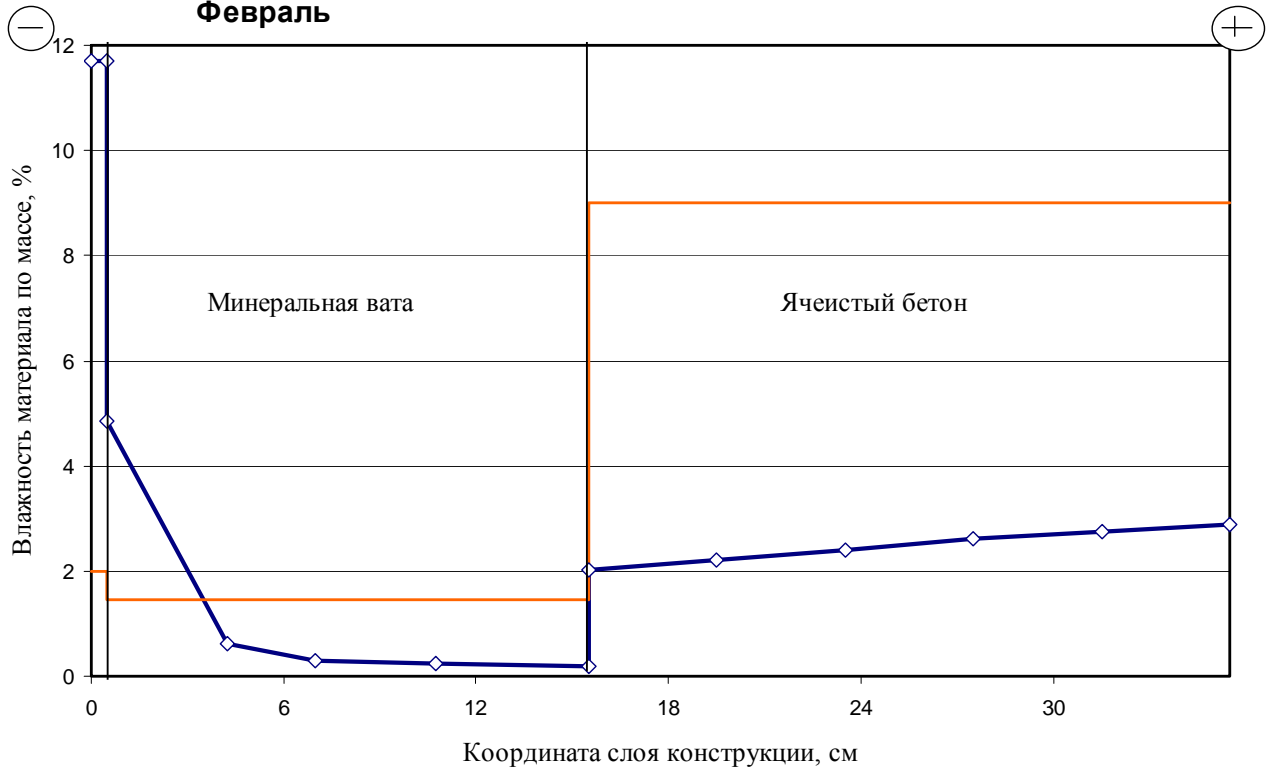
В фасадных системах в связи с повышением уровня теплоизоляции стен изменяется также и температурно-влажностный режим. Чем выше уровень теплоизоляции наружных стен фасадной системы, тем больше образуется льда в порах материалов облицовочного слоя и тем быстрее он разрушается. Чем больше облицовочный слой, например, штукатурный, тем большему количеству циклов перехода наружной температуры через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ он подвержен в осенне-зимний и зимне-весенний интервалы года. За счет разнообразия климатических условий на территории России и существенного изменения температурно-влажностного режима в течение года, наблюдается значительное изменение влажности теплоизоляционных материалов (рисунок 1.4.1), что приводит к значительному снижению эффективности теплоизоляции зданий.

Распределение влажности по толщине ограждающей конструкции



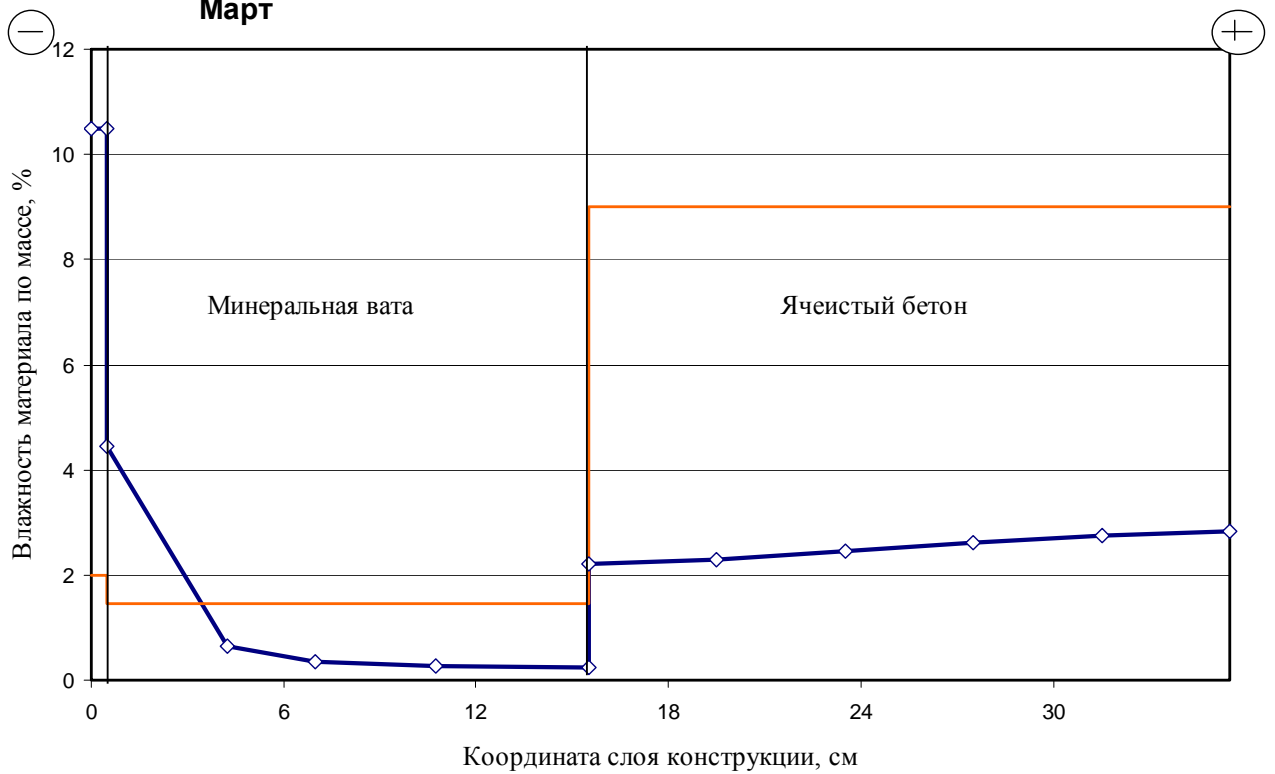
Распределение влажности по толщине ограждающей конструкции

Февраль

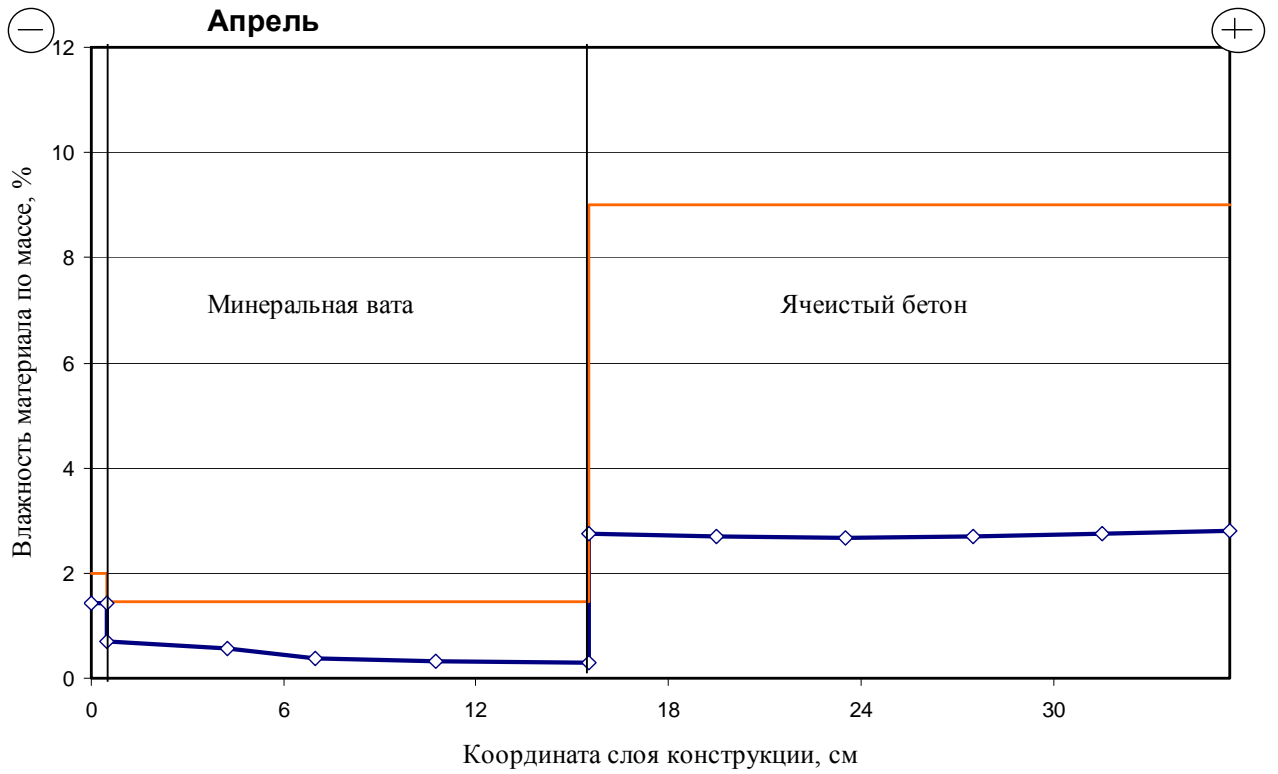


Распределение влажности по толщине ограждающей конструкции

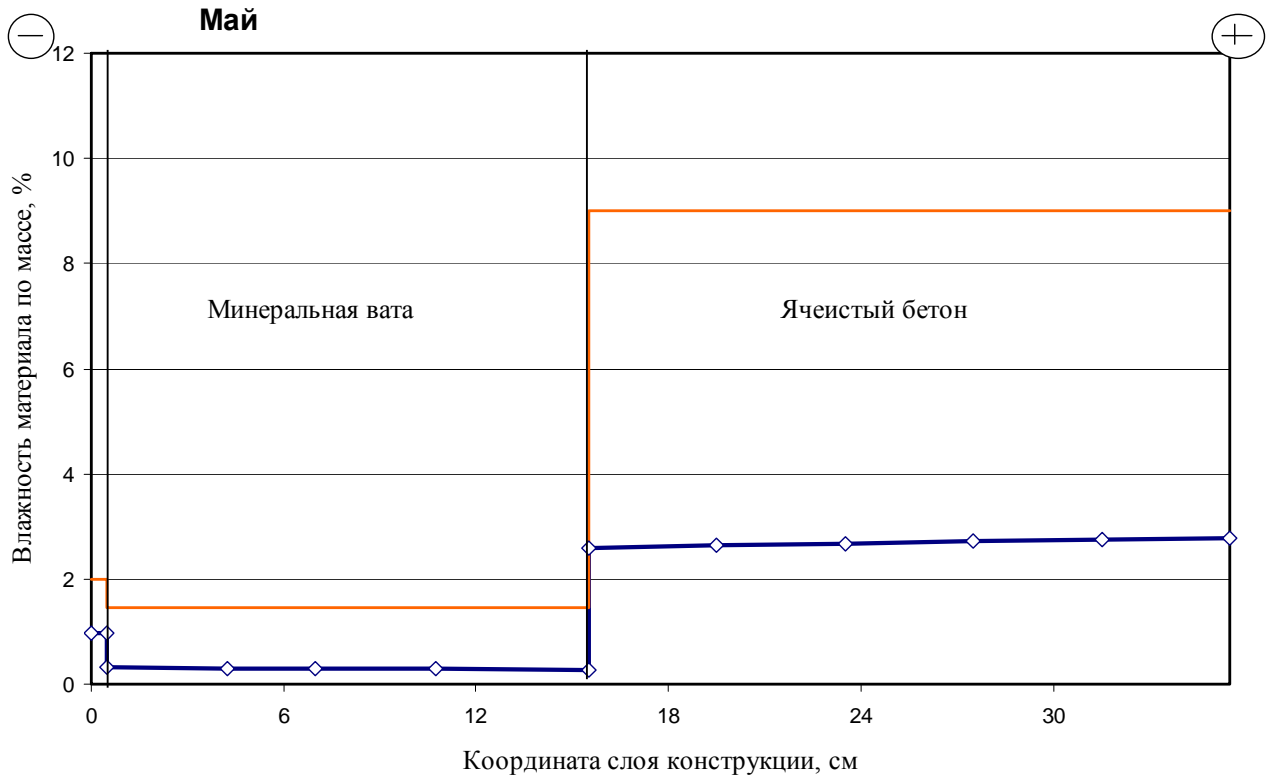
Март



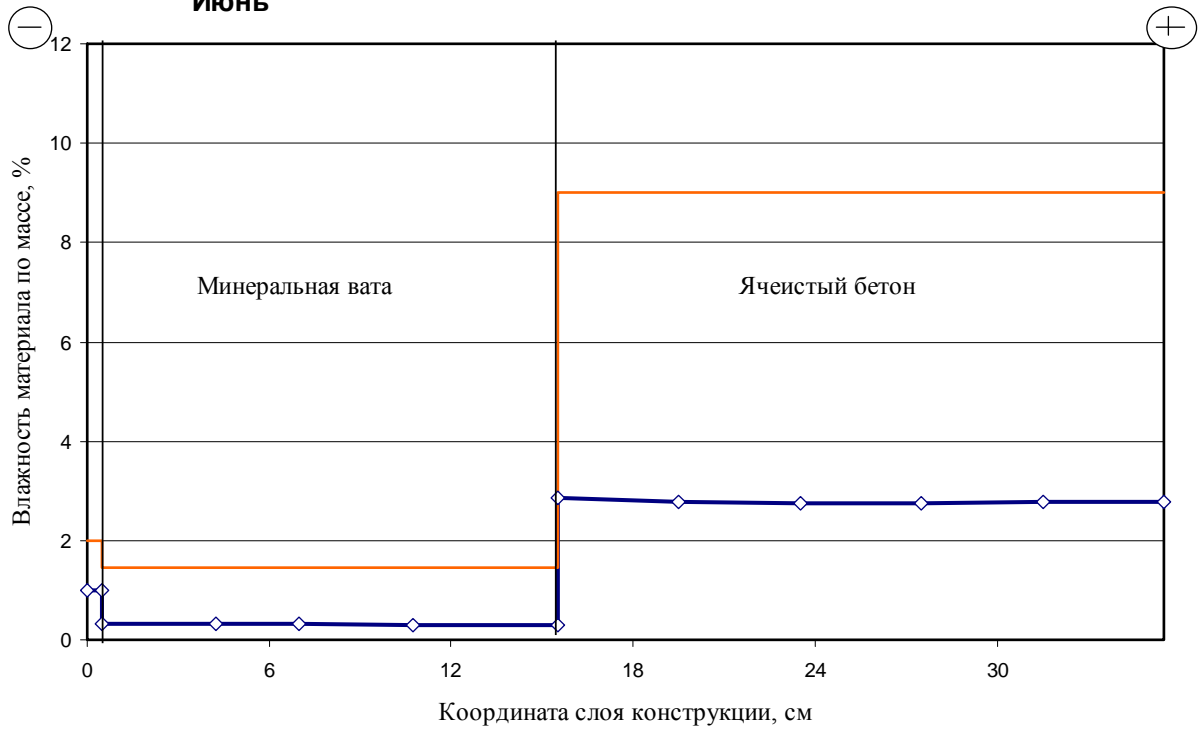
Распределение влажности по толщине ограждающей конструкции



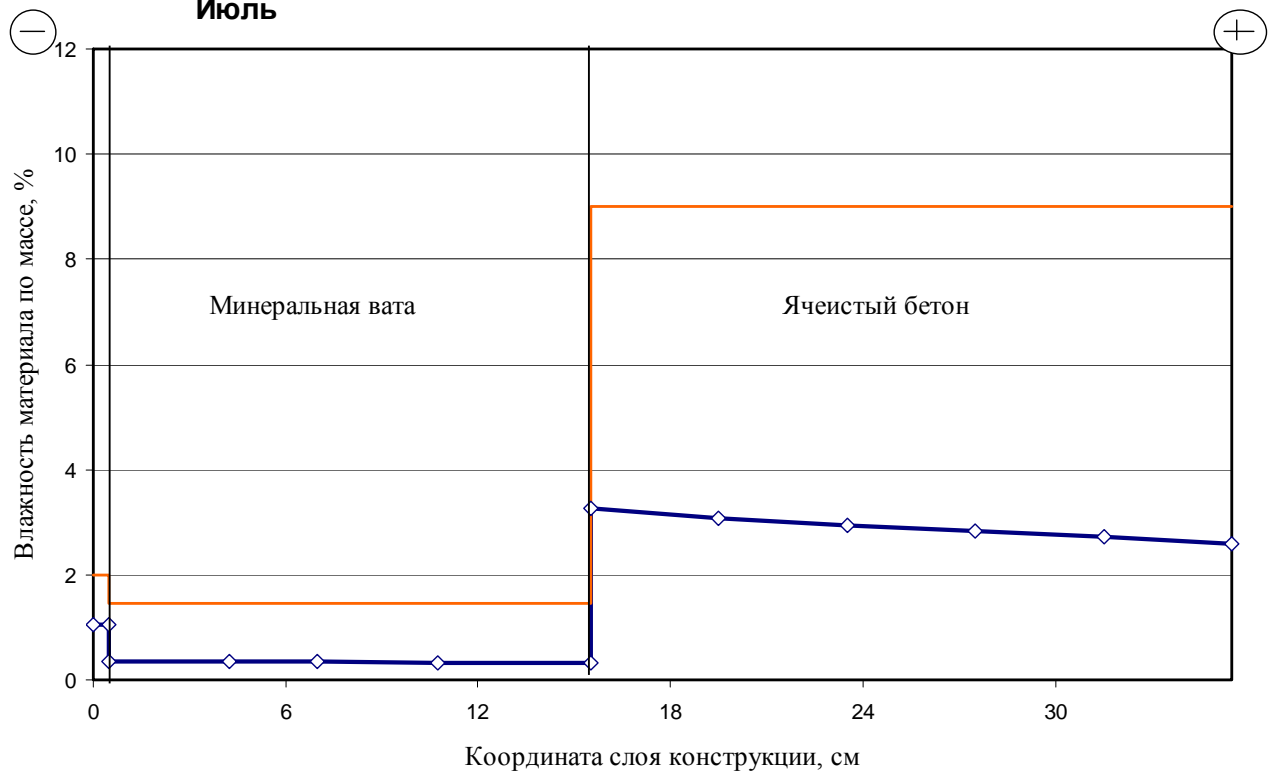
Распределение влажности по толщине ограждающей конструкции



Распределение влажности по толщине ограждающей конструкции
Июнь

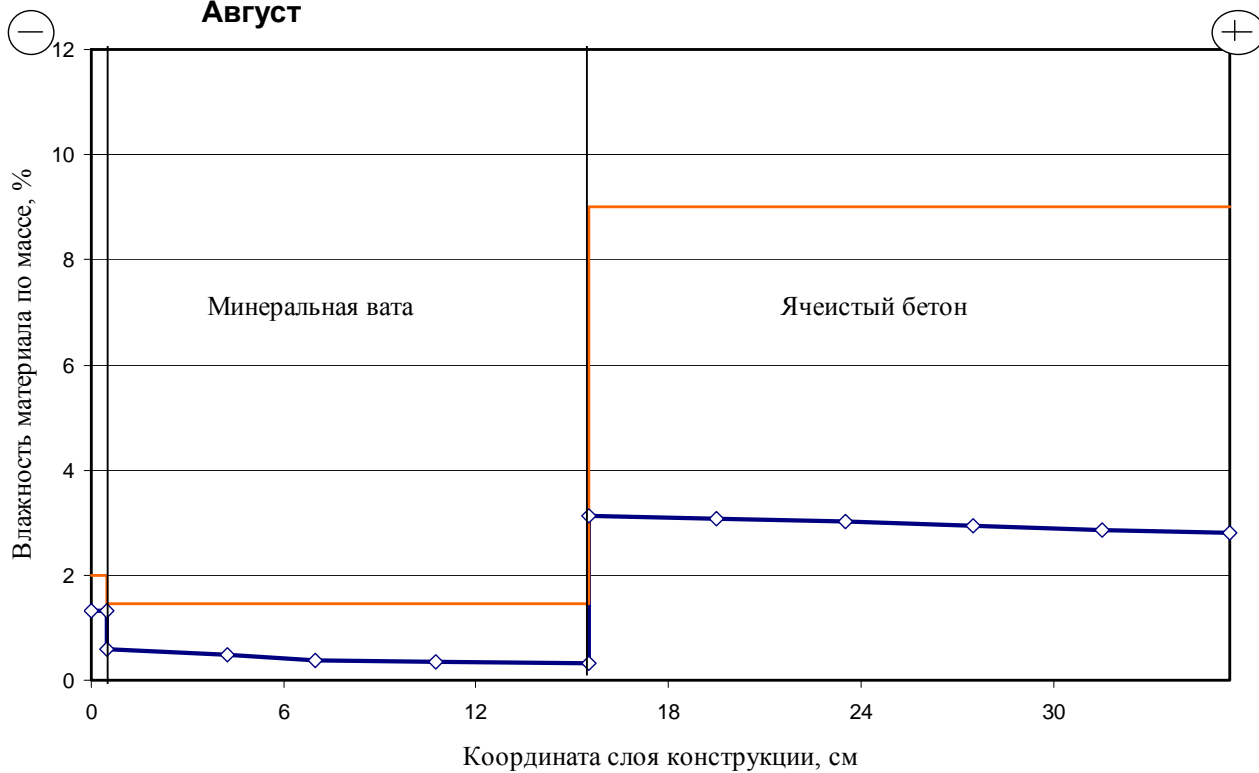


Распределение влажности по толщине ограждающей конструкции
Июль



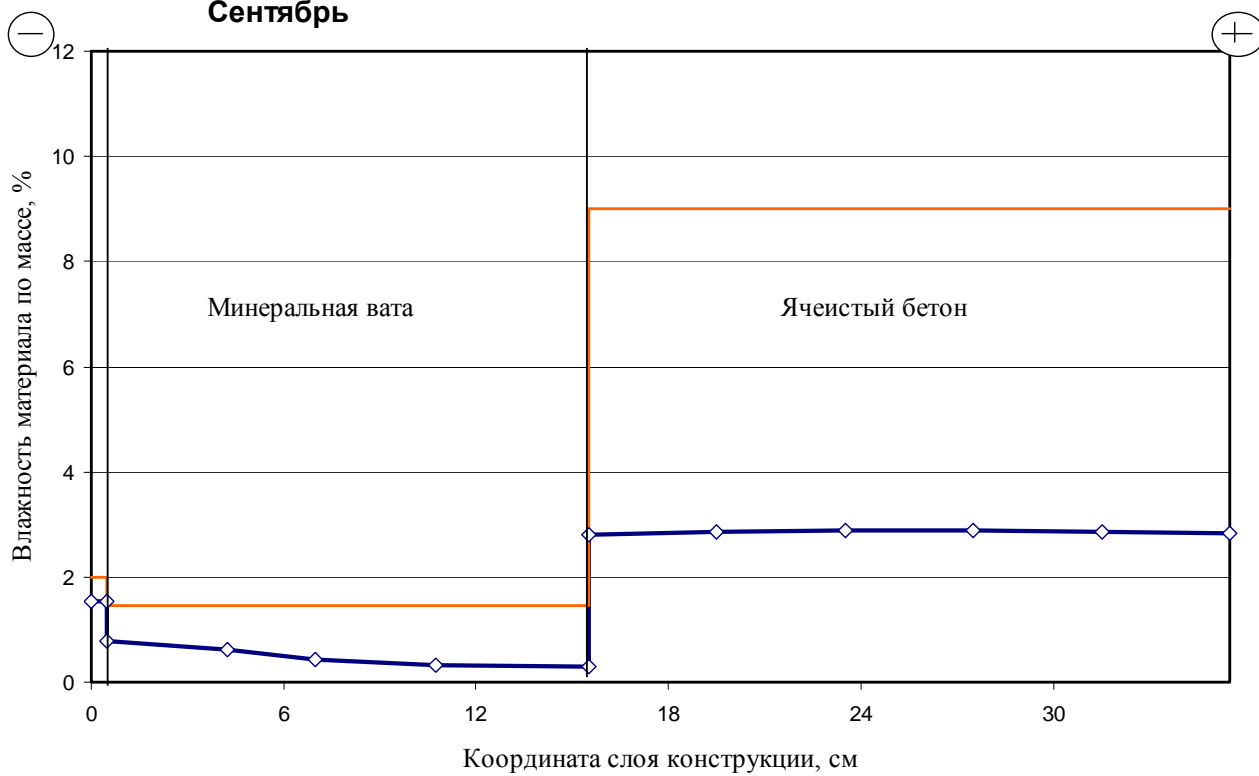
Распределение влажности по толщине ограждающей конструкции

Август

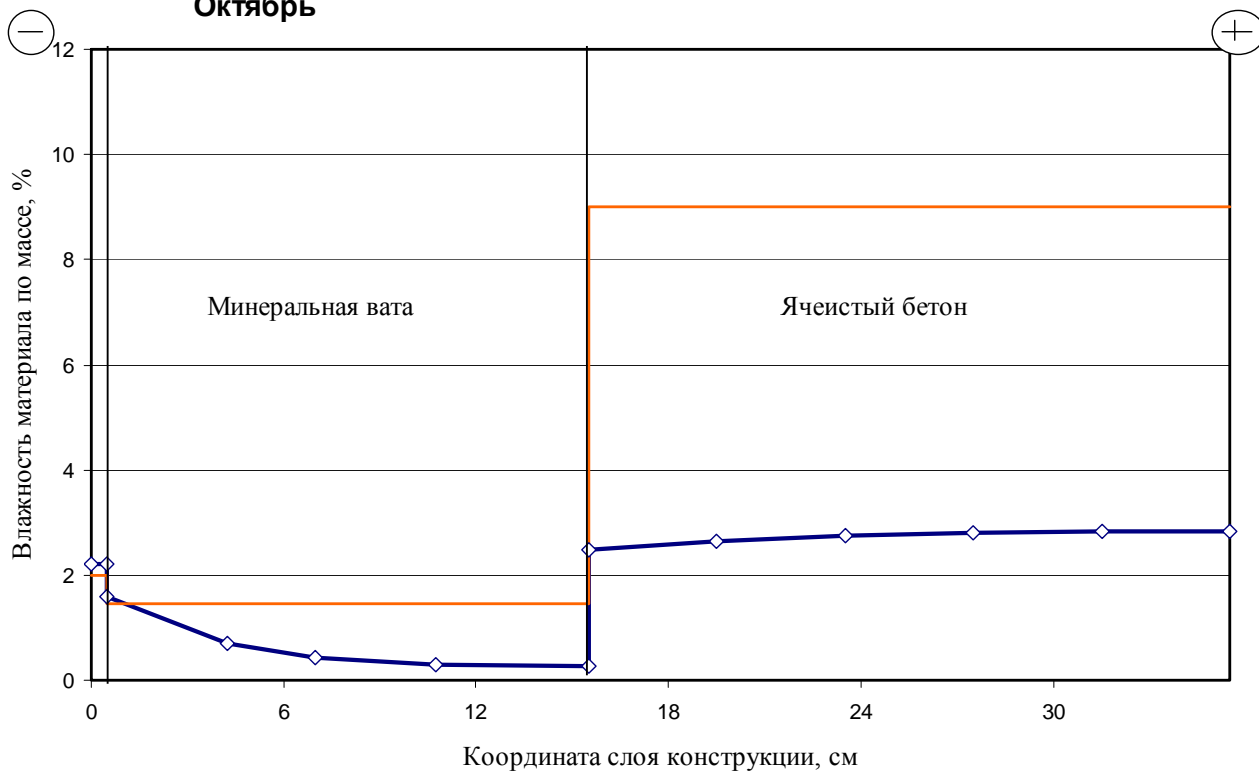


Распределение влажности по толщине ограждающей конструкции

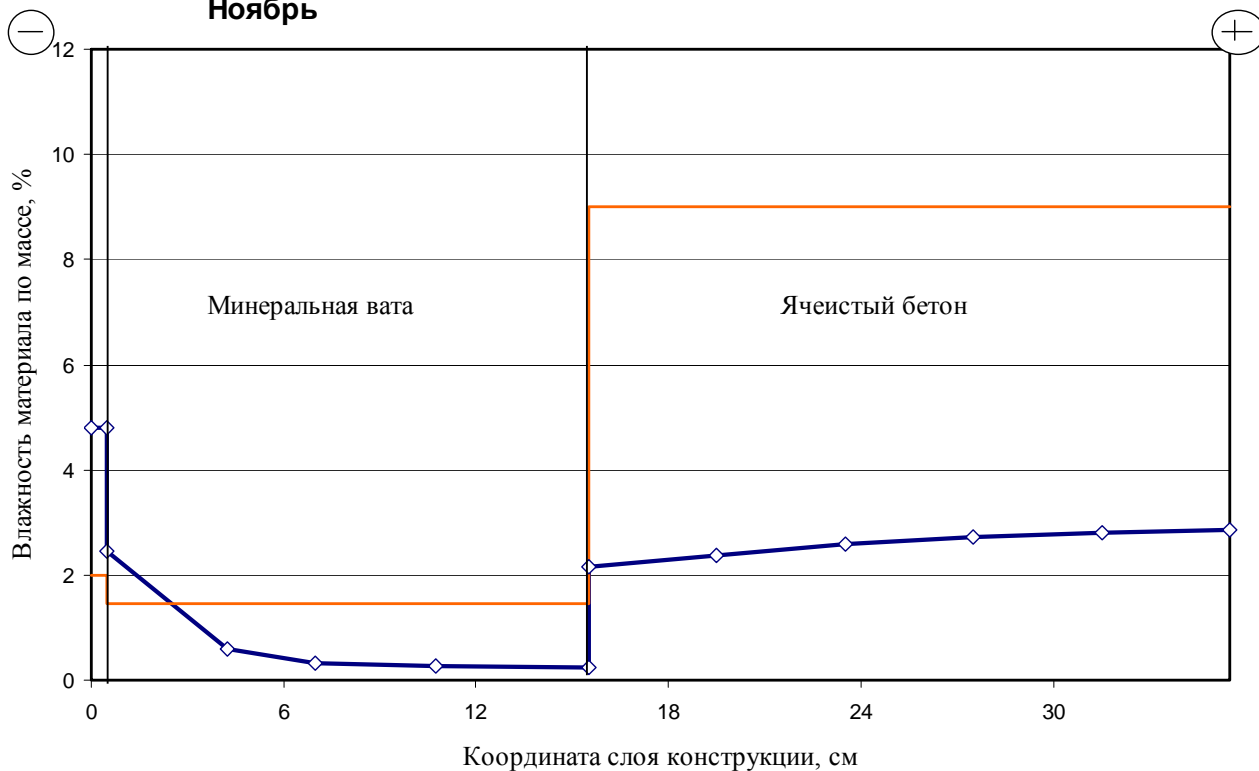
Сентябрь



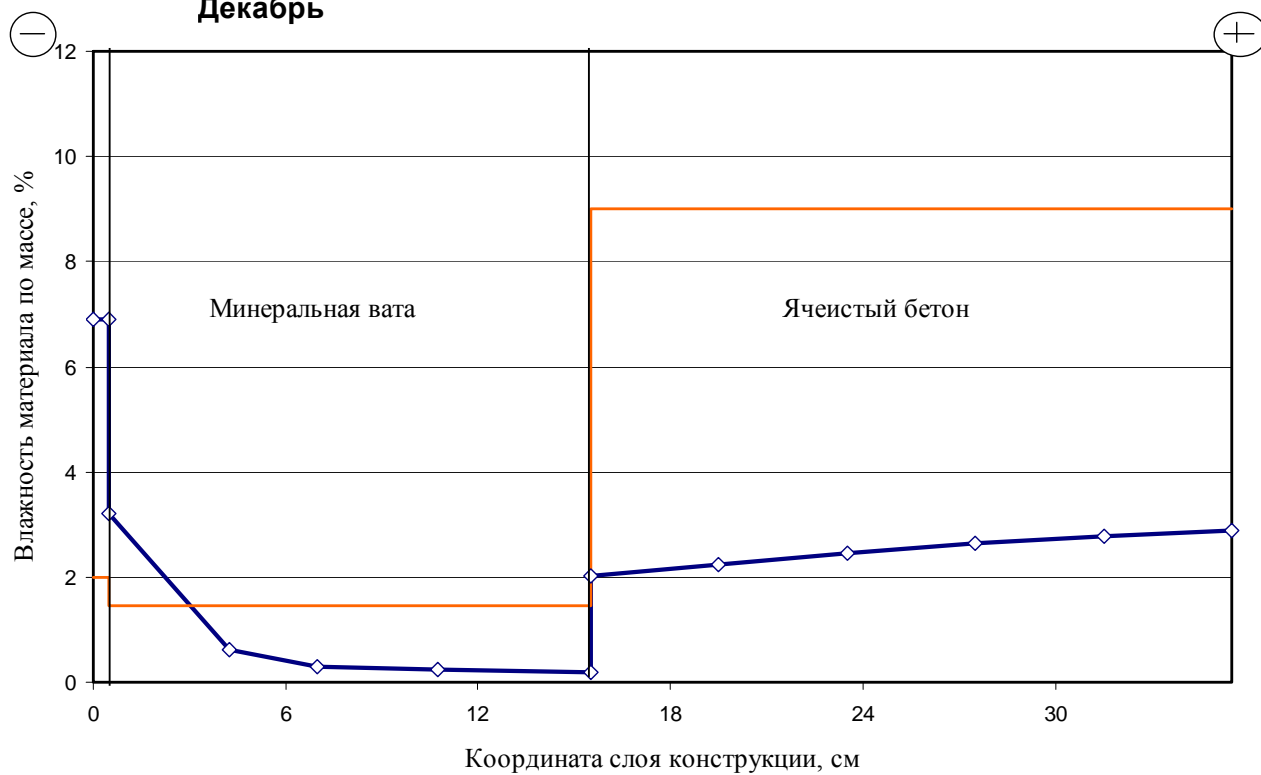
Распределение влажности по толщине ограждающей конструкции
Октябрь



Распределение влажности по толщине ограждающей конструкции
Ноябрь



Распределение влажности по толщине ограждающей конструкции
Декабрь



Каждое конструктивное решение необходимо оценивать не только с позиции его вклада в экономию тепла на отопление, но и обеспечение долговечности, обуславливающей затраты на текущие и капитальные ремонты.

Определяющим фактором в долговечности систем термоизоляции являются их влажностное состояние в осенне-зимний и зимне-весенний интервалы года. При игнорировании данного фактора разрушение отдельных элементов системы, например, облицовочного слоя, нанесенного на теплоизоляционный слой, наблюдается уже на 2-3 год эксплуатации (рис. 10)



Рисунок 10 - Разрушение штукатурного слоя

В суровых климатических условиях России вопрос утепления жилых и офисных зданий приобретает все большую актуальность. Особенно это стало актуально в последние десятилетия, учитывая непрерывный рост цен на энергоносители. Ведь чем надежнее и эффективнее системы утепления фасадов, тем здания являются более экологичными и одновременно экономичными в эксплуатации. В этой связи можно отметить, что использование современных технологий и подходящих материалов позволяет заказчикам и проектировщикам вполне успешно находить оптимальные решения, обеспечивающие требуемые нормативные показатели по энергосбережению и рациональному использованию топливно-энергетических ресурсов.

Для создания комфортных условий проживания или работы в помещениях необходимо применение систем утепления, обеспечивающих приемлемую температуру внутренних поверхностей стен, которая напрямую зависит от термического сопротивления ограждающих конструкций здания. В настоящее время существует большое количество разнообразных методов утепления фасадов зданий, связанных как с использованием конструктивных решений, так и с применением современных утеплительных материалов.

Для обеспечения тепловой защиты жилых зданий применяются:

- многослойные;
- трехслойные;
- сплошные конструкции фасадных систем.

Что касается многослойных фасадных систем, то среди них можно выделить два вида конструкций: во-первых, с применением колодцевой кирпичной кладки и, во-вторых, с использованием многослойных наружных стеновых панелей, изготовляемых промышленным способом на заводах железобетонных конструкций. Разумеется, стены, выложенные колодцевой кирпичной кладкой и утепленные плитами из минеральной ваты,

более прочны, чем штукатурные системы утепления. Однако часто в таких конструкциях зимой возникает проблема вывода избыточной влаги из утеплителя, которая накапливается в процессе эксплуатации помещений. Кроме того, колодцевая кладка - достаточно сложный и трудоемкий процесс, требующий высокой квалификации каменщиков. Укладка утеплителя также представляет определенные технологические трудности, особенно его фиксация. Все эти нюансы приводят к удорожанию строительства и увеличению его сроков.

В этом отношении использование многослойных стеновых панелей более экономично, однако и они не решают проблему эффективного сбережения тепла, т.к. не удастся избежать процесса накопления влаги в толще утеплителя или на границе утеплитель-бетон за счет конденсации бытовых паров. В результате теплотехнические показатели системы ухудшаются. Слабым местом системы многослойных панелей оказались также стандартные мосты холода и стыки между панелями. Ведь большая вероятность попадания влаги и промерзания не добавляет комфорта.

Одним из видов многослойных систем являются вентилируемые фасады. Вентилируемый фасад — это металлическая конструкция, удерживающая отделочный материал и утеплитель, проходящий прямо по стене вдоль вентилируемой зоны. Вентилируемые фасадные системы позволяют легко скрыть внешние дефекты наружных стен и значительно снижают уровень шума в помещении, т.к. утеплители являются обычно и хорошими звукоизоляторами. Такие системы обладают длительным сроком службы и обеспечивают эффективность утепления и комфортность микроклимата помещений. Однако, к сожалению, вентилируемые фасады значительно дороже других систем утепления, и это сдерживает их широкое распространение в строительстве. Преимущества вентилируемого фасада гарантированы только в том случае, если работу по его монтажу выполняют специалисты высокой квалификации. Кроме этого такие фасады подходит не для каждого архитектурного решения. Для навесных вентилируемых фасадов, лучше выбирать здания с большими ровными плоскостями и строгими формами. Для зданий сложных геометрических форм использование вентилируемых фасадов становится проблематичным.

В качестве утеплителя, разумеется, должны использоваться материалы, обладающие высокими теплоизолирующими характеристиками. Кроме того, они должны быть долговечными и устойчивыми к старению, иметь стабильную форму, монтироваться сплошным слоем и при этом позволять водяному пару и влаге попадать в воздушную прослойку, предотвращая образование и скопление в конструкциях конденсата.

Среди известных утеплителей пенопласт сравнительно недорог и обладает неплохими теплоизолирующими свойствами. Однако он не дает зданию «дышать» и значит затрудняет удаление паров влаги из помещений. Это вызывает дискомфорт и способствует развитию различных грибков и плесени. Кроме того, несмотря на то, что современный пенопласт не поддерживает горения, при пожаре он выделяет вещества, которые приводят к удушью. Другой полимерный материал - вспененный полиэтилен. Для улучшения теплоизоляционных свойств его дополнительно покрывают слоем фольги, которая отражает не только свет, но и тепло. Он имеет довольно малую толщину - до 10 мм. Его недостатки: паронепроницаем и горюч. Преимущество заключается в удобстве доставки: за счет малой толщины легче перевозить или переносить большое количество утеплителя.

Стекловата не подвержена горению, но является более дорогим материалом. При этом она значительно впитывает влагу из воздуха и при утеплении ее необходимо упаковывать во влагонепроницаемые пакеты. Поэтому она становится такой же паронепроницаемой, как и пенопласт.

Самый дорогой материал для утепления минеральная вата, но недостатков у нее практически нет, особенно если она подвергнута предварительной гидрофобизации для предотвращения впитывания влаги.

В трехслойных системах утеплитель располагается внутри ограждающих конструкций. Первый слой – внутренняя несущая стена. Второй слой — это утеплитель, его толщина зависит от теплофизических требований. И третий (лицевой) слой – это защита теплоизоляции от внешних воздействий. Такие фасадные системы достаточно распространены, так как являются довольно недорогими и при этом эффективными. Но у них есть и недостаток: конденсация влаги внутри конструкции. Поэтому обязательно нужно создать воздушный вентиляционный зазор для отвода влаги или паропроницаемый защитный слой. С точки зрения теплотехники один из недостатков трехслойной системы – возможность появления в ее конструкции мостиков холода. Серьезную опасность представляет, прежде всего, железобетонная плита перекрытия.

Современный этап развития науки о строительных материалах позволяет на практике воплотить в жизнь и усовершенствовать теорию о совместной работе бетонов и легких теплоизоляционных полимеров, объединенных в единое целое. Именно такая фасадная система называется сплошной.

Кладка однослойной стены с тонкими швами производится на клеевой раствор, а с более толстыми – на теплозащитную смесь. Ее тепловые изоляционные характеристики приближены к изоляционным характеристикам блоков, благодаря чему в местах швов не создаются термические мостики. Боковые поверхности некоторых блоков имеют паз или шпунт, так что не нужно выполнять вертикальные швы.

Полистиролбетон является композиционным материалом, близким по своему функциональному значению к ячеистым бетонам. Основой состава этого бетона является цементное вяжущее и сверхлегкий заполнитель — вспученный полистирол.

Благодаря составу, свойствам и постоянно совершенствующимся технологиям производства данный материал обладает многими достоинствами и имеет ряд преимуществ перед остальными бетонами и изделиями ЖБИ.

Полистиролбетон при низкой плотности имеет удовлетворительные прочностные характеристики, не деформируется под нагрузкой, обладает низкой теплопроводностью и высокой звукоизоляцией. Полистиролбетон пожаробезопасен и на порядок долговечнее других теплоизоляционных материалов, так как имеет улучшенные показатели по морозостойкости, водонепроницаемости, химической и биологической стойкости. Полистиролбетон паро- и воздухопроницаем, не токсичен и обладает пониженной сорбционной влажностью.

Основным преимуществом ячеистого бетона является то, что он обладает хорошей теплоизоляцией и стойкостью к сжатию, достаточной для постройки дома из нескольких этажей. Его легко обрабатывать, можно резать обычной пилой для древесины, что очень важно во время подгонки элементов и выполнения монтажных углублений. Элементы из ячеистого бетона имеют хорошую паропроницаемость, благодаря чему сооруженные из них стены могут «дышать». Они устойчивы к воздействию огня в течение четырех часов(!), а также морозоустойчивы.

Недостатком ячеистых бетонов является значительная влагоемкость и легкое поглощение влаги из воздуха, что связано с пористостью материала. Поэтому нужно беречь их от воздействия влаги. Блоки из ячеистого бетона более легки, чем керамические материалы, но по той же причине обладают и более низкими акустическими характеристиками и способностью аккумуляции тепла. Также они являются более хрупкими, следовательно, требуют особо осторожной транспортировки, а также погрузки и разгрузки.

Использование гипсовых вяжущих на основе бета полугидрата в сочетании с модификаторами МГ позволяет создавать составы сухих гипсобетонных смесей для

устройства полов, а также мелкозернистые бетоны и поробетоны для несущих и ограждающих конструкций в диапазоне плотностей от 400 кг/м³ до 1800 кг/м³ и прочностью при сжатии до 20 МПа.

Испытания показали, что материалы ограждающих конструкций на основе гипсового вяжущего, производимые с использованием модификатора гипса, обладают механическими и эксплуатационными характеристиками, сопоставимыми с характеристиками материалов на основе портландцемента. За счет снижения сроков набора распалубочной прочности увеличивается эффективность механизации работ при использовании гипсопоробетона в монолитных и сборно-монолитных ограждающих конструкциях.

Составы на основе модифицированных гипсовых вяжущих сохраняют традиционно хорошие санитарно-гигиенические свойства гипсовых материалов и высокую скорость набора прочности, но при этом они обладают достаточной водостойкостью и хорошими прочностными характеристиками. Сочетание этих свойств позволяет:

- повысить энергосбережение строящихся зданий;

- использовать материалы на основе модифицированного гипсового вяжущего в качестве несущих или ограждающих конструкций в зданиях различного назначения и этажности или применять как отделочные материалы в помещениях с различными режимами эксплуатации;

- широко применять механизированные технологии производства строительных работ без использования тяжелой строительной техники;

- в несколько раз сократить сроки возведения зданий, повысить оборачиваемость опалубки и снизить себестоимость строительства.

При этом сроки производства работ сокращаются до восьми раз при возведении монолитных и до 4 раз при возведении сборно-монолитных многослойных ограждающих конструкций.

С использованием модифицированных гипсовых вяжущих в настоящее время возведены 5 экспериментальных малоэтажных жилых домов с использованием различных конструктивных решений. Осуществляемый мониторинг эксплуатации зданий и состояния несущих и ограждающих конструкций, проводимый в течение 3 лет, позволил выявить недостатки отдельных конструктивных решений зданий и разработать рекомендации по проектированию несущих и ограждающих конструкций из материалов на основе модифицированных гипсовых вяжущих.

Опыт России в возведении зданий и сооружений из материалов на основе гипсовых вяжущих сегодня не является единичным. Например, в Австралии и Китае построены и находятся в эксплуатации более 100 зданий различного назначения. В Индии для реализации национальной программы по строительству социального жилья планируется построить миллионы квадратных метров жилья с применением гипсовых вяжущих. Экспериментальные малоэтажные здания из материалов на основе гипсовых вяжущих построены в США, где почти 60% гипсовых вяжущих производятся из импортного сырья.

Учитывая ситуацию, складывающуюся в цементной промышленности, рост цен на портландцемент и возможный дефицит его поставок, применение модифицированных гипсовых вяжущих может стать своевременным решением в выборе материала для различных видов строительных конструкций.

Широкое использование модифицированных гипсовых вяжущих при возведении ограждающих малоэтажных зданий уже сейчас может дать реальный вклад в реализацию национальной программы «Доступное и комфортное жилье». Прежде всего, это значительное снижение стоимости квадратного метра жилья за счет применения местных строительных материалов, к которым относятся гипсовые вяжущие, и эффективной механизации работ.

Использование составов на основе гипсовых вяжущих обусловлено во многом совокупностью положительных свойств, присущих только данной группе вяжущих. В первую очередь, это отсутствие усадочных деформаций, быстрый набор прочности, хорошие тепло и звукоизолирующие свойства, хорошая огнестойкость. Так как применение составов ориентировано в основном на производство внутренних работ, то к привлекательным свойствам добавляются также хорошие экологические характеристики и высокая паропроницаемость.

Популярность гипсовых вяжущих возросла и в связи с принятием во многих странах мира ограничений по выбросам в атмосферу CO_2 , так как при производстве гипсовых вяжущих выбросы в атмосферу CO_2 до 10 раз меньше чем при производстве цемента.

Для России широкое использование гипсовых вяжущих при возведении и отделке зданий и сооружений особенно актуально, так как:

- половина запасов мировых разведанных месторождений гипса находится на территории России;
- себестоимость производства гипсового вяжущего более чем в 5 раз ниже себестоимости производства цемента;
- на тонну продукции при производстве гипса расход энергии до 6 раз меньше, чем при производстве одной тонны цемента;
- использование материалов на основе гипсовых вяжущих создает более комфортные условия для пребывания человека в помещении в различных климатических зонах при большом диапазоне изменения температурно-влажностных параметров;
- сроки производства работ с использованием бетонов и растворов на основе гипсовых вяжущих в несколько раз ниже, чем при работе с аналогичными материалами на основе портландцемента.

Однако в России сложилась парадоксальная ситуация с применением гипсовых вяжущих в строительстве. Во-первых, при огромных запасах природного гипса в России его потребление в несколько раз ниже чем в развитых зарубежных странах. Во-вторых, при более низкой себестоимости производства гипсового вяжущего его стоимость в России не намного ниже портландцемента. Например, в США средняя стоимость гипсового вяжущего в 2007 году при отпуске с завода производителя составляла 17,7 ам. дол., что почти в 5 раз ниже стоимости портландцемента. В-третьих, в России практически не используются синтетический гипс и гипсосодержащие отходы.

При данных условиях применение гипсовых вяжущих в России для большинства случаев становится экономически неоправданным, и, несмотря на большое количество преимуществ, гипсовые вяжущие используют в основном при производстве достаточно дорогой продукции гипсокартонных и пазогребневых плит, а также сухих строительных смесей для производства отделочных работ и устройства полов в помещениях с нормальным режимом эксплуатации.

Одним из сдерживающих факторов применения материалов на основе гипсовых вяжущих при возведении зданий и сооружений является также отсутствие информации об опыте эксплуатации материалов на основе гипсовых вяжущих в условиях воздействия влажности и знакопеременных температур. Результаты лабораторных испытаний в данном случае не могут победить инертность строителей, у которых сформировалось отношение к материалам на основе гипсовых вяжущих как к материалам, не обладающим достаточной прочностью, водостойкостью и долговечностью. Даже в традиционных областях применения гипсовых вяжущих, таких как штукатурки и полы, среди строителей часто бытует мнение, что гипсовые материалы лучше не использовать.

Между тем в России имеется достаточный опыт широкого применения гипсовых вяжущих в конструкциях различного назначения и эксплуатации их в различных температурно-влажностных условиях в течение длительного времени.

Применение водостойких гипсовых вяжущих существенно расширяет возможности использования конструкций с использованием гипсовых вяжущих и повышает их конкурентную способность по сравнению с составами на основе портландцемента.

Низкая водостойкость материалов на основе гипсовых вяжущих определяется, прежде всего, достаточно хорошей растворимостью двухводного гипса в воде, а также значительной пористостью затвердевших растворов и бетонов на основе гипсовых вяжущих. Исходя из этого, основными направлениями повышения водостойкости данных составов является снижение растворимости двухводного гипса и пористости материала с одновременным закрытием пор для предотвращения доступа воды внутрь материала. Поэтому при проектировании состава используют компоненты, обеспечивающие максимально возможную водостойкость без снижения других строительно-технологических характеристик. Это достигается, в первую очередь, применением в качестве вяжущего ангидрита, α -полугидрата или совместного использования смеси ангидрита и α -полугидрата. Такой выбор связан с более плотной структурой и более низкой водопотребностью данных гипсовых вяжущих по сравнению с гипсом β -полугидратом. Правильно подобранный гранулометрический состав заполнителей и наполнителей также способствует снижению пористости затвердевшего раствора. Более плотная структура материала достигается и при использовании суперпластификаторов и пеногасителей, а использование гидрофобизирующих добавок и редиспергируемых порошков сополимеров винилацетата и акрилата препятствует распространению воды через поры.

Для снижения растворимости гипса используют добавки, при взаимодействии с которыми гипс образует соединения с более низкой растворимостью чем у двухводного гипса. В качестве таких добавок производители чаще всего используют вещества, имеющие общий ион с сульфатом кальция, либо гидравлические вяжущие совместно с активными минеральными добавками.

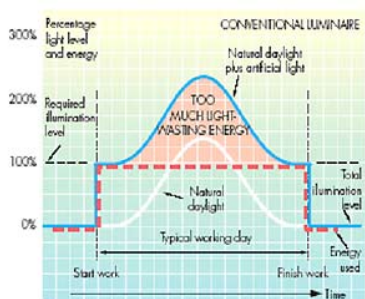
Однако практическое использование данных положений сопряжено с такими сложностями, как ограниченные объемы производства гипса α -полугидрата и ангидрита, высокая стоимость используемых полимерных добавок, а также уменьшение прочности при использовании добавок, снижающих растворение гипса.

Одним из путей практического решения проблем прочности и водостойкости бетонов и растворов на основе гипсовых вяжущих является использование модификаторов гипсовых вяжущих.

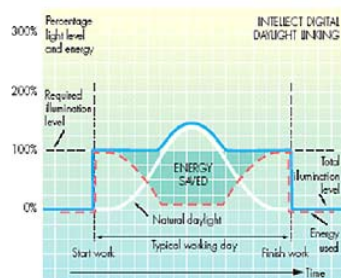
10. Интеллектуальные системы освещения

Интеллектуальные системы освещения обеспечивают комфортную обстановку, одновременно снижая расход электроэнергии.

В 90% случаев, искусственное освещение в полной мере задействовано только в **начале и в конце дня**, тогда как в **течение дня** (из-за дневного света) оно дает слишком много света, вызывая перерасход электроэнергии.

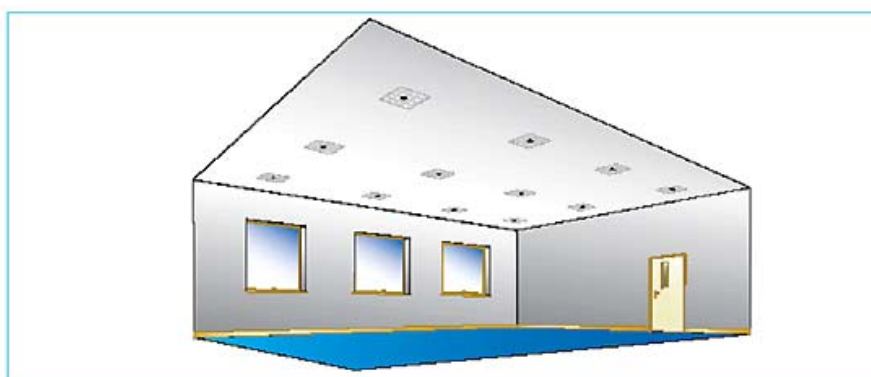


Интеллектуальные системы освещения контролируют степень дневного освещения и диммируют искусственное освещение, таким образом, чтобы обеспечить нужный уровень освещенности в помещении, значительно снижая энергопотребление системы.



Энергосберегающая система автоматически снижает яркость светильников, находящихся возле окон и повышает яркость по мере удаления светильников от окон, обеспечивая ровное освещение по всему помещению.

Энергосберегающая система здания



11. Анализ экспериментально-теоретических исследований кинетических параметров разрушения бетона при однократном статическом и динамическом нагружении в условиях различных видов напряженных состояний.

11.1. Современные представления о поведении бетона при статическом нагружении.

Теплоизоляционными называют строительные материалы и изделия, предназначенные для тепловой изоляции конструкций зданий и сооружений, а также различных технических агрегатов. Однако основной особенностью теплоизоляционных материалов является их высокая пористость и низкая прочность, но малая средняя плотность и низкая теплопроводность. Поэтому, как правило, в ограждающих конструкциях используют многослойные системы, когда один или несколько слоев выполняет чисто несущие функции, обеспечивая высокую устойчивость ограждения.

Применение теплоизоляционных материалов в строительстве позволяет снизить массу конструкций, уменьшить материалоемкость конструктивных строительных материалов (бетона, кирпича, древесины и др.). Теплоизоляционные материалы существенно повышают комфорт в жилых помещениях. Важнейшей целью теплоизоляции строительных конструкций является сокращение расхода энергии на отопление здания. Один из путей снижения энергозатрат на отопление зданий с одновременным сохранением их высокой прочности и устойчивости является повышение термического сопротивления ограждающих конструкций за счет применения эффективных теплоизоляционных материалов в сочетании с силовым каркасом из высокопрочных марок бетона.

В фасадных системах в связи с повышением уровня теплоизоляции стен изменяется также и температурно-влажностный режим. Чем выше уровень теплоизоляции наружных стен фасадной системы, тем больше образуется льда в порах материалов облицовочного слоя и тем быстрее он разрушается. Чем больше облицовочный слой, например, штукатурный, тем большему количеству циклов перехода наружной температуры через 0 °С он подвержен в осенне-зимний и зимне-весенний периоды года. За счет разнообразия климатических условий на территории России и существенного изменения температурно-влажностного режима в течение года, наблюдается значительное колебание влажности теплоизоляционных материалов и ограждающих конструкций в целом.

Мониторинг состояния и динамические испытания ограждающих и несущих конструкций зданий и сооружений позволит спрогнозировать их надёжность при эксплуатации, а следовательно стабильность параметров энергосбережения.

Известно, что в практике эксплуатации строительных конструкций достаточно часто встречаются случаи аварийного действия динамических нагрузок, вызываемых взрывными или ударными воздействиями. Для совершенствования оценки предельных состояний конструкций, рассчитываемых на особое сочетание нагрузок, а также при выполнении поверочных расчетов при анализе влияния аварийного динамического воздействия на конструкции, необходимо обладать достоверными сведениями о прочностных и деформативных характеристиках конструктивных материалов.

Установлено, что для материалов с неоднородной структурой, к которым относится в первую очередь бетон, деформативно-прочностные характеристики зависят от вида напряженного состояния и скорости приложения нагрузки (**кинети́ческие параметры хрупкого разрушения**).

При этом следует отметить, что до сих пор остаются мало изученными вопросы поведения бетона при динамическом нагружении, как при одноосных, так и сложных напряженных состояниях.

11.2. Обзор и анализ экспериментально-теоретических исследований кинетических параметров разрушения бетона при однократном статическом и динамическом нагружении в условиях различных видов напряженных состояний.

11.2.1. Современные представления о поведении бетона при статическом нагружении.

- **Представление о бетоне как о сложном композиционном материале с неоднородной структурой.**

Согласно современным представлениям принято рассматривать бетон как искусственный конгломерат, в котором отдельные зерна мелкого и крупного заполнителя скреплены в монолит цементно-песчаным камнем сложной кристаллической структуры. Благодаря особенностям твердения цементно-песчаного геля в условиях избытка свободной воды необходимой для обеспечения достаточной подвижности бетонной смеси,

бетон формируется как материал, в котором присутствуют все три фазы вещества: твердая, жидкая и газообразная. Наличие в бетоне многочисленных пор позволяет говорить о нем как о капиллярно-пористом материале.

Принято подразделять несколько уровней структуры бетона: микро-, мезо- и макроструктуру. При этом каждый уровень структуры предполагает наличие двух компонентов. Для микроструктуры – это зерна гидротированного цемента и поры; для мезоструктуры - зерна песка и прослойки из цементного камня и, наконец, макроструктура включает в себя зерна крупного заполнителя и прослойку из цементно-песчаного камня.

Различные исследования, связанные с оценкой деформирования и трещинообразования бетона, показывают, что образование и развитие трещин, в конечном счете приводящих к разрушению бетона, возникает преимущественно на контактной зоне «цементно-песчаный камень-зерно крупного заполнителя», что позволяет говорить о возможности при оценке результатов механического силового воздействия ограничиваться рассмотрением макроструктуры бетона. При этом макроструктуру можно оценить характеристиками бетона в целом, а также характеристиками цементно-песчаного камня, крупного заполнителя и контактной зоны.

Макроструктура бетона обуславливает основные особенности поведения бетона под нагрузкой: существенное различие в прочности на сжатие и растяжение, способность к значительным пластическим деформациям при сжатии, зависимость упруго-пластических свойств от уровня нагружения, влияние скорости нагружения на прочностные и деформативные свойства бетона, а также определяет причины микротрещинообразования в бетоне и характер развития микротрещин.

• Роль микротрещинообразования в разрушении и деформировании бетона.

В настоящее время наиболее обоснованной представляется гипотеза А.А.Гвоздева об изменениях, которые происходят в макроструктуре бетона под действием сжимающей нагрузки и вызывают образование и развитие микротрещин при сжатии. При нагружении бетона в результате различия характеристик входящих в него компонентов (прежде всего модулей деформаций, прочности, а также размера, формы и состояния поверхности крупного заполнителя) и наличия в бетоне дефектов (включая хаотически ориентированные микропоры) в нем появляется вторичное поле напряжений. При этом наибольшая концентрация напряжений создается на границах дефектов и компонентов с разными свойствами. При этом из-за хаотического расположения площадок, на которых происходит концентрация напряжений, в бетонных образцах, подвергаемых одноосному сжатию, возникают как продольные сжимающие напряжения ориентированные также как и усилия от внешней нагрузки, так и перпендикулярные им растягивающие напряжения.

Учитывая, что прочность сцепления цементно-песчаного камня с зернами заполнителя ниже не только прочности бетона на сжатие, но и прочности на растяжение, критической с точки зрения начала образования микротрещин является именно вторичное поле растягивающих напряжений в контактной зоне «цементно-песчаный камень – крупный заполнитель».

В начале нагружения процесс микротрещинообразования локализуется на небольших участках, однако дальнейший рост внешней нагрузки приводит к возрастанию вторичного поля напряжений. Увеличивается количество, длина и ширина раскрытия микротрещин. После того как объем микроразрушений достигает некоторого критического уровня, происходит объединение микротрещин в единую поверхность разрушения.

При одноосном растяжении процесс микротрещинообразования носит иной характер. Активный процесс образования микротрещин происходит при высоком уровне внешней нагрузки близком к разрушающему. Трещины, в основном, образуются поперек действия растягивающих усилий и приводят к быстрому разрушению бетона.

11.2.2. Испытательное оборудование, средства и способы измерения усилий и деформаций. Методика испытаний.

Программа экспериментальной части настоящего исследования включает в себя следующее:

1) Испытание серии образцов в условиях одноосного и двухосного сжатия при действии статической и динамической нагрузки.

2) Испытание серии образцов в условиях одноосного растяжения и напряженного состояния «сжатие-растяжение» при действии статической и динамической нагрузки.

Для решения поставленных в исследовании экспериментально-теоретических задач необходимо в ходе испытаний фиксировать усилия, величины продольных и поперечных деформаций с привязкой к показателям времени (для случая динамического нагружения). Экспериментальные исследования необходимо проводить на образцах из бетона реального состава, при заданных режимах нагружения со стабильными характеристиками.

Для реализации настоящей программы испытаний были разработаны испытательные стенды и средства измерений, а также отработана методика проведения экспериментальных исследований с регистрацией необходимых характеристик бетона.

11.2.2.1. Испытательные установки.

• **Основные принципы, положенные в основу разработки испытательных установок для создания оптимальных режимов нагружения, предусмотренных программой исследований.**

При проектировании испытательных стендов ставилась задача разработать и апробировать испытательные стенды, отвечающие определенному набору требований и, по-возможности, лишенные недостатков, присущих известным решениям.

Основным при проектировании установок для осуществления динамического нагружения в направлении действия сжимающего или растягивающего напряжения σ_1 являлось следующее:

1) Оптимизация соотношения между проектной мощностью установки и ее массивностью.

Как отмечалось выше, механические ударные установки получили наибольшее распространение, но для воспроизведения одиночных или многократных ударных нагрузок в десятки тонн они требуют устройства специальных виброзащитных фундаментов. Пневматические и электрогидравлические ударные стенды также довольно массивны и сложны в управлении.

Представлялось перспективным разработать установки, которые при малой массе и отсутствии специальных фундаментов были бы способны создавать сжимающие и растягивающие динамические нагрузки для испытания образцов стандартного размера из бетона реального состава.

2) Установки, используемые в экспериментах на сжатие, должны быть способны создавать статическую и динамическую нагрузку в 30т, а установки на растяжение – 5т.

Установки указанной мощности способны разрушать бетонные образцы стандартного размера с призменной прочностью до 30МПа и прочностью на растяжение до 5МПа.

3) Возможность осуществления как динамического, так и статического нагружения.

Помимо очевидных преимуществ, связанных с сокращением числа установок, задействованных в экспериментальных исследованиях, благодаря такой многофункциональности установка приобретает и специфические достоинства. Прежде всего, она позволяет осуществлять предварительное нагружение образца в упругой зоне для определения начального модуля продольной деформации и коэффициента

поперечных деформаций, что после проведения динамического испытания, которое осуществляется без нарушения центровки образца, дает возможность корректно сравнивать эти характеристики при максимально полном сходстве условий экспериментов.

Кроме того, на подобных установках можно проводить обширную группу экспериментов, при котором бетонные образцы сначала загружаются статической нагрузкой различных уровней, а затем без разгрузки доводятся до разрушения в ходе действием динамической нагрузки.

4) Установка должна позволять центрировать образцы по физической оси.

5) Время разрушения бетонных образцов должно быть близким к 0,1с.

Данное время действия нагрузки характерно для сейсмического воздействия.

6) Режим нагружения: плавное возрастание напряжений от 0. Подобный режим нагружения реализовывался ранее, что позволяет сравнить результаты, полученные в наших экспериментах, с результатами предыдущих исследований; Также, такой режим нагружения имеет место на практике при динамических воздействиях невысокой интенсивности в условиях свободной деформации.

7) Постоянство во время нагружения одной из характеристик удара: скорости роста напряжений, либо скорости деформирования.

Выполнение указанного условия позволяет при большом разнообразии режимов динамического воздействия приблизиться к их некоторой унификации, что делает возможным применять результаты экспериментальных исследований в расчетах конструкций с привязкой к конкретным условиям действия динамической нагрузки.

8) Указанные режимы нагружения должны реализовываться на всем протяжении нагружения при деформативности образца до 300 е.о.д. при сжатии и 20 е.о.д. при растяжении (продольные деформации).

9) Стенды должны быть пригодны для создания статической и динамической нагрузки в направлении σ_1 при двухосном сжатии и напряженном состоянии «сжатие-растяжение».

10) Надежность и безопасность в эксплуатации.

Разработанные Цветковым К.А. совместно с инж. И.М.Безгодовым в соответствии с указанными выше требованиями испытательные стенды, позволяют проводить динамические и статические испытания на сжатие и растяжение образцов из бетона в условиях различных напряженных состояний.

11.3. Влияние динамического нагружения на прочностные и деформативные свойства бетона при одноосном и двухосном сжатии.

11.3.1. Оценка влияния вида напряженного состояния и скорости нагружения на прочность бетона при одноосном и двухосном сжатии. Критерий прочности бетона с учетом скорости нагружения и вида напряженного состояния.

При рассмотрении вопросов, связанных с прочностью бетона при одноосном и двухосном сжатии при статическом и динамическом нагружении удобно ввести следующие обозначения:

R_b - прочность бетона при одноосном сжатии при действии статической нагрузки (призмная прочность бетона);

$R_{b,d}$ - прочность бетона при одноосном сжатии для определенной скорости нагружения при действии динамической нагрузки;

$R_b^{\sigma_2}$ - прочность бетона при двухосном сжатии при определенном уровне напряжения σ_2 при действии статической нагрузки;

$R_{b,d}^{\sigma_2}$ - то же для определенной скорости нагружения при действии динамической нагрузки;

$k_b^{\sigma_2} = \frac{R_b^{\sigma_2}}{R_b}$ - коэффициент, характеризующий влияние уровня напряжения σ_2 на прочность бетона при действии статической нагрузки;

$k_{b,d}^{\sigma_2} = \frac{R_{b,d}^{\sigma_2}}{R_{b,d}}$ - то же при действии динамической нагрузки;

$k_{b,v} = \frac{R_{b,d}}{R_b}$ - коэффициент динамического упрочнения бетона при одноосном сжатии;

$k_{b,v}^{\sigma_2} = \frac{R_{b,d}^{\sigma_2}}{R_{b,d}^{\sigma_2}}$ - то же для двухосного сжатия и определенного уровня напряжения σ_2 ;

• **Результаты экспериментальных исследований при одноосном сжатии.**

Как отмечалось выше, имеется достаточный объем экспериментальных данных, дающих представление о величине коэффициента динамического упрочнения при одноосном сжатии. Проводя экспериментальные исследования при одноосном сжатии в рамках настоящей работы, мы могли пополнить существующие данные только одним значением $k_{b,v}$ на кривой зависимости $k_{b,v}(\sigma)$, так как скорость роста напряжений при динамических испытаниях не варьировалась. В тоже время величины R_b , $R_{b,d}$ и $k_{b,v}$ являются базовыми для последующей оценки влияния скорости нагружения на прочность бетона при двухосном сжатии, и получение этих характеристик из одноосных испытаний представлялось необходимым.

Таблица 1.

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					
О2	20,24	20,41	1,8	1,17	
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				

• **Результаты экспериментальных исследований при двухосном сжатии.**

Результаты статических и динамических испытаний при двухосном сжатии по каждому образцу приведены в таблице 2. Графически результаты экспериментов представлены на рис. 1.

Таблица 2

Номер образца	Уровень напряжения σ_2 (σ_2/R_b)	Прочность $R_{ib}^{\sigma_2}$ ($R_{ib,d}^{\sigma_2}$), МПа	Среднее значение прочности $R_b^{\sigma_2}$ ($R_{b,d}^{\sigma_2}$), МПа	Коэффициент вариации V, %
1	2	3	4	5
Статические испытания				
O9	0,2	26,98	26,57	1,2
O19		26,24		
O20		26,50		
O12	0,4	26,50	27,34	3,1
O29		28,17		
O1	0,6	29,39	28,98	1,4
O32		28,57		
Динамические испытания * ($\sigma \approx 470$ МПа/с, $\tau \approx 0,08$ с)				
O5	0,2	32,02	30,89	2,6
O10		30,23		
O28		30,42		
O11	0,4	35,30	33,97	3,0
O27		32,80		
O30		33,80		
O14	0,6	34,68	35,04	1,0
O31		35,40		

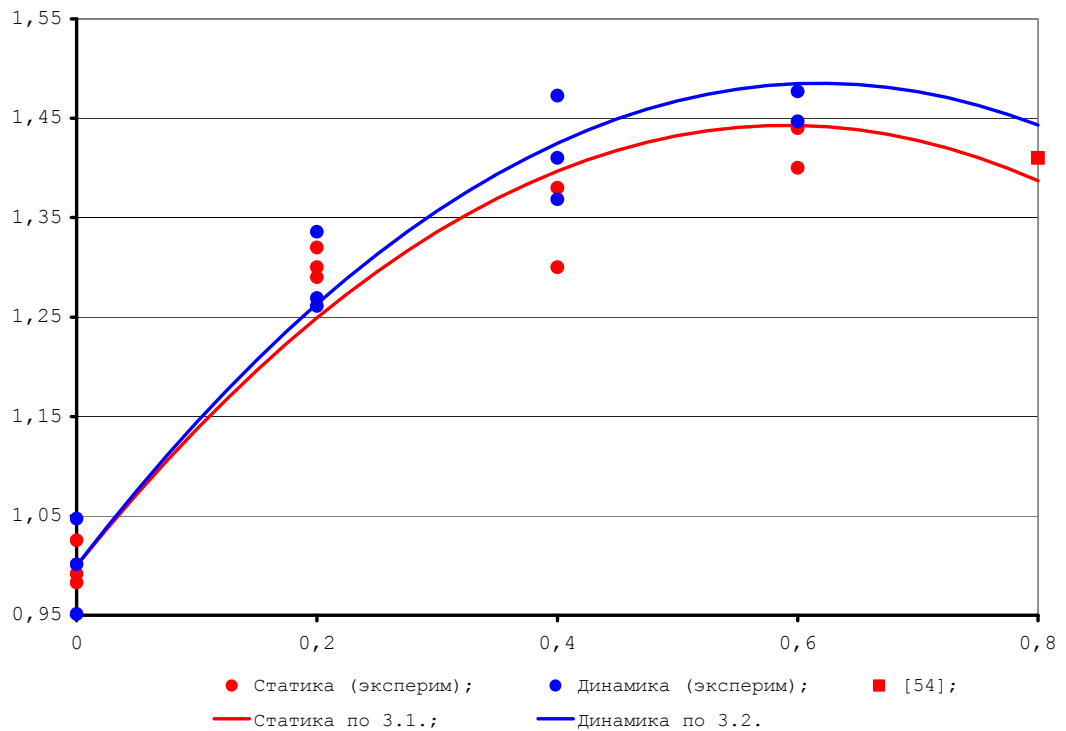


Рис. 1. Влияние вида напряженного состояния, уровня напряжения σ_2 и скорости нагружения на прочность бетона.

• **Оценка влияния вида напряженного состояния, уровня напряжения σ_2 и скорости роста напряжений на прочность бетона.**

Программа проведенных испытаний позволяет:

во-первых, оценить влияние вида напряженного состояния и уровня напряжения σ_2 на прочность бетона, как при статическом, так и динамическом нагружении (табл. 3.);

во-вторых, оценить влияние скорости нагружения на прочность бетона при двухосном сжатии (табл. 4).

Анализируя совместно данные, приведенные в таблицах 3 и 4, можно прийти к следующим выводам.

Как при статическом, так и при динамическом нагружении, вид напряженного состояния и уровень напряжения σ_2 существенно влияют на прочность бетона. Наиболее заметное увеличение прочности происходит при переходе от одноосного сжатия к двухосному, даже при небольшом значении второго главного напряжения σ_2 . При повышении уровня бокового обжатия от $0,2R_b$ до $0,6R_b$ прочность бетона также повышается. Так, увеличение прочности при $\sigma_2=0,6R_b$ как при статике, так и динамике составляет более 40% по сравнению с прочностью при одноосных испытаниях с соответствующей скоростью нагружения.

Вид напряженного состояния и уровень бокового обжатия влияют на коэффициент динамического упрочнения, однако в меньшей мере, чем скорость нагружения. Незначительное повышение $k_{b,v}^{\sigma_2}$ по сравнению с $k_{b,v}$ наблюдали при двухосном сжатии с уровнем бокового обжатия $0,4R_b$ и $0,6R_b$.

Таблица 3

Влияние вида напряженного состояния и уровня напряжения σ_2 на прочность бетона при статическом и динамическом нагружении

Статика				
Прочность, коэффициенты	Одноосное сжатие	Двухосное сжатие		
		$\sigma_2=0,2R_b$	$\sigma_2=0,4R_b$	$\sigma_2=0,6R_b$
$R_b (R_b^{\sigma_2}), \text{МПа}$	20,41	26,57	27,34	28,98
$k_b^{\sigma_2}$	1	1,30	1,34	1,42
Динамика (* $\sigma \approx 470 \text{ МПа/с}, \tau \approx 0,08\text{с}$)				
$R_{b,d} (R_{b,d}^{\sigma_2}), \text{МПа}$	23,97	30,89	33,97	35,04
$k_{b,d}^{\sigma_2}$	1	1,29	1,42	1,46

Таблица 4

Влияние скорости нагружения на прочность бетона при одноосном и двухосном сжатии

Режим нагружения	Статика	Динамика (* $\sigma \approx 470 \text{ МПа/с}$)
Вид напряженного состояния	Одноосное сжатие	
$R_b (R_{b,d}), \text{МПа}$	20,41	23,97
$k_{b,v}$	1,17	
Вид напряженного состояния, σ_2/R_b	Двухосное сжатие $\sigma_2=0,2R_b$	
$R_b^{\sigma_2} (R_{b,d}^{\sigma_2}), \text{МПа}$	26,57	30,89
$k_{b,v}^{\sigma_2}$	1,16	
Вид напряженного состояния, σ_2/R_b	Двухосное сжатие $\sigma_2=0,4R_b$	
$R_b^{\sigma_2} (R_{b,d}^{\sigma_2}), \text{МПа}$	27,34	33,97
$k_{b,v}^{\sigma_2}$	1,24	
Вид напряженного состояния, σ_2/R_b	Двухосное сжатие $\sigma_2=0,6R_b$	
$R_b^{\sigma_2} (R_{b,d}^{\sigma_2}), \text{МПа}$	28,98	35,04

• **Сопоставление результатов экспериментов с данными предыдущих исследований.**

Учитывая ограниченность имеющихся данных о прочности бетона при двухосном сжатии даже при статическом нагружении, сравнивать с ними результаты наших исследований достаточно затруднительно. В главах 1 и 2 было показано, что на прочность бетона существенное влияние оказывают способ передачи нагрузки в направлении σ_2 , а также форма и размер образцов. В этой связи представляется целесообразным сопоставить наши результаты с результатами испытаний образцов цилиндров и призм при гидростатическом способе передачи боковой нагрузки. Наиболее обширные экспериментальные статические исследования с использованием указанной методики испытаний проводились под руководством Ю.Н.Малашкина. Динамические испытания при двухосном сжатии при гидростатическом способе передачи статической нагрузки при скорости 500-600МПа/с проводила О.В.Коробцева.

Результаты исследований хорошо совпадают с результатами наших экспериментов. В то же время известны результаты испытаний, когда при нагружении цилиндрическим мембранным испытательным устройством, которые свидетельствуют о снижении прочности при двухосном сжатии по сравнению с призмной на 20-40%.

• **Анализ влияния способа приложения напряжения σ_2 на величину «действительной» прочности бетона при статическом и динамическом нагружении.**

Как показано в ряде работ различия в значениях прочности бетона при двухосном сжатии, фиксируемое различными исследователями, связано с особенностями методики определения момента разрушения. Отмечается, что, принимая за прочность бетона при двухосном сжатии значения напряжений, при которых на поверхности образца наблюдаются видимые следы разрушения, приходится говорить об оценке прочности образца как конструкции, связывая ее повышение по сравнению с одноосным сжатием с затрудненным выходом трещин на опорные грани образца и повышенной устойчивостью его частей.

В этой связи применительно к двухосному сжатию было введено понятие «действительная прочность», которая соответствует моменту образования в образце практически сплошной поверхности разрушения, и численно может быть принята равной напряжениям, соответствующим верхней границе микротрещинообразования R_{crc}^v .

С учетом вышесказанного, в наших экспериментах при статике момент разрушения определялся не по видимым следам разрушения, а прежде всего по наступлению момента лавинообразного, неустойчивого деформирования, который фиксировался по показаниям датчиков деформаций, отображаемых в течение всего времени нагружения на мониторе ЭВМ. В результате этого, после снятия мембранных установок с образца наклонные трещины на поверхности образца либо не наблюдались, либо не пересекала образец насквозь (с одной грани на другую). После разгрузки некоторые образцы были испытаны на одноосное сжатие и показали прочность близкую к нулевой ($0,2-0,3R_b$), при этом вертикальные трещины объединялись в наклонную поверхность разрушения. Таким образом, и после принятия мер по фиксации «достоверного» момента разрушения в экспериментах на двухосное сжатие отмечали упрочняющее действие напряжения σ_2 .

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

Анализируя кривую нагрузки $P(t)$ (рис.2), наблюдаем следующее. Вблизи момента разрушения кривая нагрузки, как правило, приобретает небольшой по продолжительности горизонтальный участок ($\Delta t \approx (0,15 \div 0,2)\tau$), т.е. скорость роста напряжения σ становилась равной нулю. При этом продольные и поперечные деформации продолжали возрастать. Затем наблюдался спад кривой нагрузки. Деформации достигали своего максимума, как правило, в момент времени соответствующий окончанию горизонтального участка, а в ряде случаев наблюдался небольшой участок нисходящей ветви.

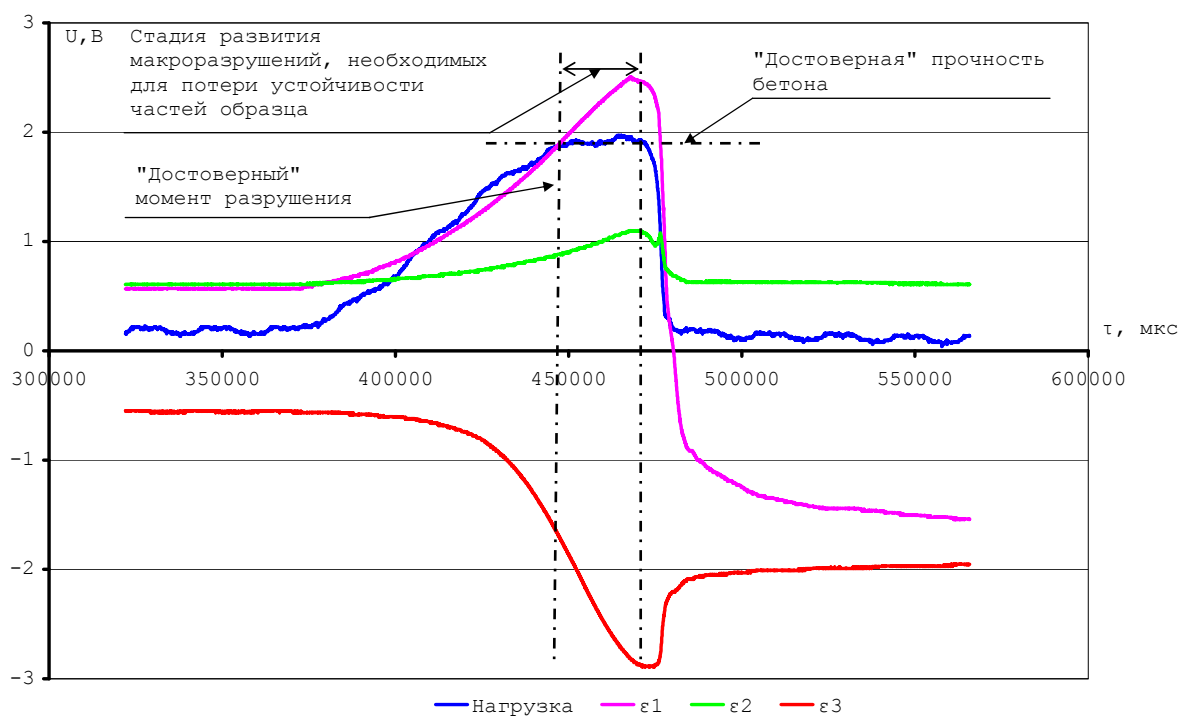


Рис. 2. К оценке "достоверной" прочности бетона при двухосном сжатии.

Представляется, что возникновение горизонтального участка следует связывать с тем, что в его начале поверхность разрушения уже сформировалась, и материал образца не способен воспринимать увеличение нагрузки, однако для того, чтобы датчик силы зафиксировал спад нагрузки необходимо некоторое смещение верхней части образца относительно нижней в результате потери устойчивости частей образца. Существует временной разрыв между этими двумя моментами, который имеет ту же природу, что и при двухосном испытании при статике.

Таким образом, за «достоверный» момент разрушения при динамическом воздействии был принят момент времени, в который скорость роста напряжений в образце σ становится равной 0 (начало горизонтального участка на кривой нагрузки), а за значение «достоверной» прочности - напряжения, соответствующие этому моменту времени.

Наличие горизонтального участка на кривой $P(t)$ подтверждает, 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 можно считать, что как при статике, так и динамике были зафиксированы «достоверные» значения прочности и отмечалось упрочняющее действие двухосного сжатия.

• **Аппроксимация результатов экспериментальных исследований.**

На основании результатов осуществленных испытаний можно записать функции, характеризующие влияние уровня напряжения σ_2 на прочность бетона при статическом и динамическом нагружении: функции $F_b^{\sigma_2}$ и $F_{b,d}^{\sigma_2}$ соответственно.

Функция $F_b^{\sigma_2}$ может быть представлена в виде:

$$\frac{R_b^{\sigma_2}}{R_b} = 1 + 1,5 \left(\frac{\sigma_2}{R_b} \right) - 1,27 \left(\frac{\sigma_2}{R_b} \right)^2 \quad (1)$$

а функция $F_{b,d}^{\sigma_2}$:

$$\frac{R_{b,d}^{\sigma_2}}{R_{b,d}} = 1 + 1,57 \left(\frac{\sigma_2}{R_b} \right) - 1,27 \left(\frac{\sigma_2}{R_b} \right)^2 \quad (2)$$

Таким образом,

$$R_b^{\sigma_2} = R_b F_b^{\sigma_2} \left(\frac{\sigma_2}{R_b} \right) = R_b \left(1 + 1,5 \left(\frac{\sigma_2}{R_b} \right) - 1,27 \left(\frac{\sigma_2}{R_b} \right)^2 \right) \quad (3)$$

$$R_{b,d}^{\sigma_2} = R_{b,d} F_{b,d}^{\sigma_2} \left(\frac{\sigma_2}{R_b} \right) = k_{b,v} R_b \left(1 + 1,57 \left(\frac{\sigma_2}{R_b} \right) - 1,27 \left(\frac{\sigma_2}{R_b} \right)^2 \right) \quad (4)$$

Зависимости (1.,2.) получены с использованием средств MS Excel с величиной достоверности аппроксимации более 0,9.

Результаты сопоставления экспериментальных данных со значениями прочности, полученными с использованием выражений (3) и (4) для статического и динамического нагружения соответственно приведены в таблице 5.

Таблица 5.

Уровень напряжения σ_2 (σ_2/R)	Прочность $R_b^{\sigma_2}$ ($R_{b,d}^{\sigma_2}$), МПа (по эксперим. данным)	Прочность $R_b^{\sigma_2}$ ($R_{b,d}^{\sigma_2}$), МПа (по ф-лам 3.3.,3.4.)	$\Delta = \frac{R_{теор} - R_{эксп}}{R_{эксп}} \times 100\%$
Статика			
0	20,41	20,41	0
0,2	26,57	25,50	-4,2
0,4	27,34	28,51	4,1
0,6	28,98	29,45	1,6
0,8 [8]	28,71	28,31	-1,4
Динамика			
0	23,97	23,88	-0,4
0,2	30,89	30,16	-2,4
0,4	33,97	34,02	0,2
0,6	35,04	35,46	1,2
0,8	-	34,46	-

Функция $F_{b,d}^{\sigma_2}$ (4) может быть выражена через функцию $F_b^{\sigma_2}$ (3) путем умножения последней на некоторую функцию $F\left(\frac{\sigma_2}{R_b}\right)$, имеющую вид квадратного трехчлена.

Функция $F\left(\frac{\sigma_2}{R_b}\right)$ характеризует увеличение коэффициента динамического упрочнения с увеличением уровня напряжения σ_2 по сравнению с коэффициентом динамического упрочнения $k_{b,v}$, полученным при одноосном сжатии. Обозначим функцию $F\left(\frac{\sigma_2}{R_b}\right)$ за $K_{b,v}\left(\frac{\sigma_2}{R_b}\right)$, а ее значения за k_{b,v,σ_2} .

Функция $K_{b,v}\left(\frac{\sigma_2}{R_b}\right)$ принимает максимальное значение при $\sigma_2/R_b=0,8$, при этом $k_{b,v,\sigma_2}=1,04$. Таким образом, можно отметить, что для скорости роста напряжений σ , принятых в наших экспериментах, влияние уровня бокового обжатия на коэффициент динамического упрочнения не значительно, и k_{b,v,σ_2} целесообразно принять равным 1, что идет в запас прочности. Тем не менее, важно отметить саму тенденцию увеличения коэффициента динамического упрочнения при повышении уровня напряжения σ_2 , зафиксированную в настоящем исследовании. Представляется целесообразным в дальнейшем провести экспериментальную проверку данной закономерности при более высоких скоростях нагружения.

• Предложения по записи критерия прочности бетона при двухосном сжатии с учетом скорости нагружения.

Критерий прочности должен отражать следующие основные закономерности изменения прочности бетона в зависимости от вида напряженного состояния, уровня напряжения σ_2 и скорости нагружения, получившее экспериментальное подтверждение:

- 1) Разрушение бетона при двухосном сжатии происходит в результате действия нормального напряжения σ_1 , действующего в наиболее загруженном направлении. Наличие второго главного напряжения σ_2 оказывает на бетон упрочняющее действие (при $0 < \sigma_2/R_b < 0,8$);
- 2) Прочность бетона повышается с увеличением скорости нагружения;
- 3) Упрочняющий эффект динамического нагружения, наблюдаемый при одноосном сжатии, сохраняется и при двухосном сжатии. При этом вид напряженного состояния и уровень напряжения σ_2 мало влияют на коэффициент динамического упрочнения.
- 4) Ограниченное число экспериментальных исследований для широкого диапазона скоростей и различных режимов динамического нагружения не позволяют оценить изменения закономерностей поведения бетона для всех случаев динамического воздействия при двухосном сжатии, что в критерии прочности должно быть учтено соответствующими ограничениями.

Аналитическое выражение критерия прочности с учетом скорости нагружения удобное в применении при практических расчетах можно получить, если учесть следующее:

- 1) Величины, входящие в аналитическое выражение для критерия динамической прочности, должны быть известны или легко получены из статических одноосных испытаний бетона;

2) Влияние скорости нагружения на прочность учесть коэффициентом динамического упрочнения, соответствующим одноосному сжатию.

Для записи выражения для коэффициента динамического упрочнения при одноосном сжатии $k_{b,v}$ выберем одну из известных по литературным источникам зависимость, при применении которой $k_{b,v}$ для скорости принятой в наших экспериментах соответствовал бы полученному нами экспериментально.

В качестве такого выражения может быть использована зависимость, предложенная В.С.Каранфиловым при некоторой корректировке коэффициента перед радикалом:

$$k_{b,v} = 1 + 0,04 \sqrt{(\lg \sigma_b^*)^3} \quad (5)$$

Границу применимости критерия прочности, зададим диапазоном скоростей, характерным для динамического нагружения общего вида, который по классификации определен следующим образом:

$$0,001c \leq \tau \leq 1c,$$

что для бетонов реального состава соответствует следующим диапазонам скорости роста напряжений и продольных деформаций:

$$10 \leq \sigma_1 \leq 10^4 \text{ МПа/с или } (6)$$

$$1 \cdot 10^{-3} \leq \varepsilon_1 \leq 10^0 \text{ е.о.д./с}$$

Таким образом, критерий прочности бетона при одноосном и двухосном сжатии с учетом скорости нагружения и уровня напряжения σ_2 с системой уравнений, входящих в него функций, а также с указанием границ его применимости может быть записан так:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 \leq R_{b,v}^{\sigma_2} = k_{b,v} k_{b,v,\sigma_2} F_b^{\sigma_2} R_b ; \\ \sigma_1 \geq \sigma_2 ; \\ 0 \leq \frac{\sigma_2}{R_b} \leq 0,8 ; \\ k_{b,v} = 1 + 0,04 \sqrt{(\lg \sigma)^3} \\ F_b^{\sigma_2} = 1 + 1,5 \left(\frac{\sigma_2}{R_b} \right) - 1,27 \left(\frac{\sigma_2}{R_b} \right)^2 \\ 10 \leq \sigma_1 \leq 10^4, \text{ МПа/с}; \quad (1 \cdot 10^{-3} \leq \varepsilon_1 \leq 10^0 \text{ е.о.д./с}) \end{array} \right. \quad (7)$$

где, $R_{b,v}^{\sigma_2}$ - прочность бетона с учетом вида напряженного состояния, уровня σ_2 и скорости нагружения;

$k_{b,v}$ - коэффициент динамического упрочнения бетона при

одноосном сжатии (σ - скорость роста напряжений, МПа/с);

$k_{b,v,\sigma_2} = 1$ - коэффициент запаса на влияние уровня напряжения σ_2 на изменение коэффициента динамического упрочнения бетона;

$F_b^{\sigma_2}$ - функция, характеризующая влияние уровня напряжения σ_2 на изменение прочности бетона при статическом нагружении;

R_b - прочность бетона при одноосном сжатии при статическом нагружении (призмная прочность).

Экспериментальные исследования, положенные в основу разработки указанного критерия прочности, проводились при сложном (непропорциональном нагружении), при

этом напряжения σ_2 прикладывались со статической скоростью. В ряде работ убедительно показано, что прочность бетона при двухосном сжатии мало зависит от траектории нагружения. Также очевидно, что определяя прочность при условиях, когда одно из главных напряжений прикладывается со статической скоростью, мы получаем некоторый запас прочности по сравнению со случаем нагружения, при котором оба главных напряжения действуют с повышенной скоростью. Это позволяет говорить о том, что критерий прочности (7) можно распространить и на случай пропорционального нагружения двухосным сжатием и на случай нагружения напряжениями σ_1 и σ_2 , действующими с динамической скоростью, при этом в последнем случае будет заложен некоторый запас прочности.

• **Примеры определения прочности бетона при различной полноте учета факторов, влияющих на его прочность.**

Для понимания необходимости при расчетах конструкций максимально полно учитывать факторы, влияющие на прочность бетона, сопоставим значения прочности при двухосном сжатии, полученные по выражению (7) со значениями, не учитывающими вида напряженного состояния и(или) динамического характера приложения нагрузки. Результаты для бетона с $R_b = 20,4$ МПа, приведены в таблице.6.

Таблица 6.

Расчетная формула	Без учета вида напряженного состояния и влияния скорости нагружения (как для одноосной статики)			С учетом влияния скорости нагружения, без учета вида напряженного состояния (как для одноосной динамики)			С учетом вида напряженного состояния, без учета влияния скорости нагружения (как для двухосной статики)		С учетом влияния скорости нагружения и вида напряженного состояния (по критерию прочности (9))		
	$R_{b,d}^{\sigma_2} = R_b$			$R_{b,d}^{\sigma_2} = k_{b,v} R_b$			$R_{b,d}^{\sigma_2} = R_b^{\sigma_2}$		$R_{b,d}^{\sigma_2} = k_{b,v} k_{b,v,\sigma_2} R_b^{\sigma_2}$		
Значение прочности при скоростях:	Значения прочности при $\frac{\sigma_2}{R_b}$:										
	0	0,2	0,8	0	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	
* $\sigma_1 = 10$ МПа/с	20,4			21,2			25,5	28,3	26,5		29,4
* $\sigma_1 = 4,7 \cdot 10^2$ МПа/с				24,0					29,9		33,2
* $\sigma_1 = 10^4$ МПа/с				26,9					33,6		37,35

Графики, характеризующие изменение значений прочности при изменении скорости роста напряжений, вида напряженного состояния и уровня напряжений σ_2 , для максимальной скорости диапазона (6) и для скорости, принятой в наших экспериментах приведены на рис. 3.

Из приведенных в таблице 6. и на рис. 3. данных видно, что без учета влияние скорости нагружения и вида напряженного состояния занижение прочности бетона может составить 90%, а если учитывать влияние скорости нагружения без учета вида напряженного состояния, то прочность бетона будет недооценена на 44% (данные приведены для максимальной скорости, соответствующей динамическому нагружению общего вида).

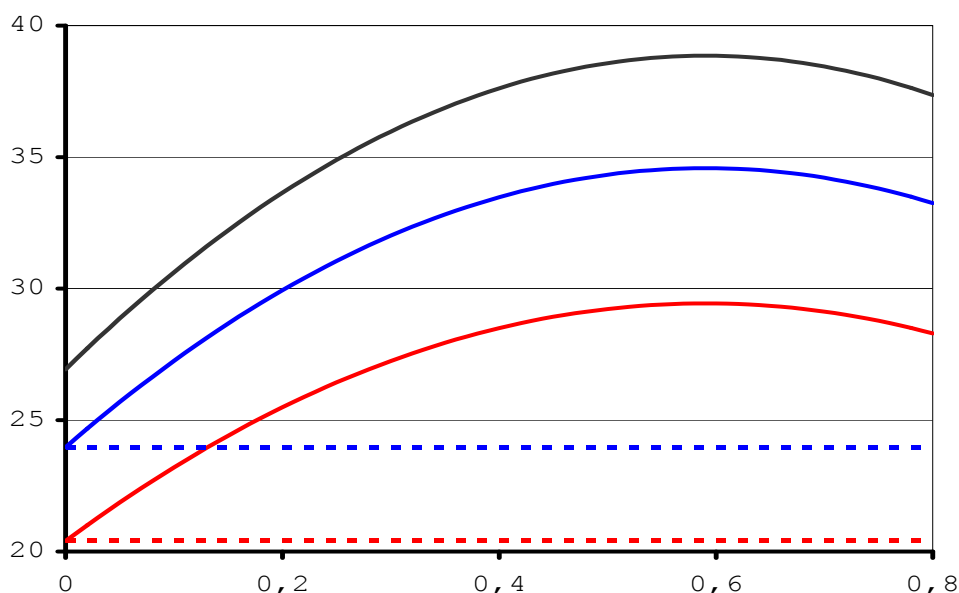


Рис. 3. Пример сравнение значений прочности бетона, определенной с учетом вида напряженного состояния и скорости нагружения, со значением призмной прочности

Выводы к разделу 11.3.

1. Проведены экспериментальные исследования кинетических параметров хрупкого разрушения бетона при одно- и двухосном сжатии при статическом и динамическом нагружении. Испытания, проведенные при одинаковых условиях, показали удовлетворительное совпадение результатов. Значения прочности при одноосном динамическом нагружении и статическом двухосном сжатии соответствовали данным, полученным предыдущими исследователями.

2. На основании экспериментальных данных было выявлено влияние скорости нагружения, вида напряженного состояния и уровня напряжения σ_2 на прочность бетона. Динамическое нагружение и повышение уровня напряжения σ_2 существенно увеличивают прочность бетона.

3. Было записано аналитическое выражение для критерия динамической прочности бетона при двухосном сжатии, учитывающее основные закономерности изменения прочности бетона в зависимости от вида напряженного состояния, уровня напряжения σ_2 и скорости нагружения. Данный критерий динамической прочности может быть использован при практическом расчете конструкций на динамическое воздействие общего вида.

11.3.2. Оценка влияния вида напряженного состояния и скорости нагружения на деформативные свойства бетона при одноосном и двухосном сжатии.

Как указывалось выше, в ходе проведения экспериментальных исследований производилось измерение продольных и поперечных относительных деформаций. По данным этих измерений построены диаграммы " $\sigma - \varepsilon$ ", определены значения модуля продольных деформаций и коэффициента поперечных деформаций (кпд), вычислены значения объемных деформаций, определены предельные деформации, деформации соответствующие параметрическим точкам. На основании полученных данных произведен анализ влияния вида напряженного состояния, уровня напряжения σ_2 и скорости роста напряжений на деформационные характеристики бетона.

• **Влияние вида напряженного состояния и уровня бокового обжатия на вид диаграмм " $\sigma - \varepsilon$ " и деформационные характеристики при статическом и динамическом нагружениях.**

Полученные по результатам наших испытаний диаграммы деформирования бетона, соответствуют современным представлениям о поведении бетона под нагрузкой. Диаграммы как продольных, так и поперечных деформаций имеют криволинейное очертание. На них можно выделить практически прямолинейный начальный участок, криволинейный восходящий участок и участок диаграммы, на котором касательная к кривой деформирования стремится к горизонтали.

Анализируя диаграммы " $\sigma_1 - \varepsilon_1$ ", полученные для второго этапа нагружения бетона в условиях двухосного сжатия как при статическом, так и динамическом нагружении (рис. 4.) в качестве наиболее характерной особенности полученных графиков можно отметить практически полное совпадение до некоторого уровня напряжений σ_1 участков кривых продольных деформаций ε_1 , т.е. начальный модуль продольных деформаций не зависит от вида напряженного состояния и уровня напряжения σ_2 .

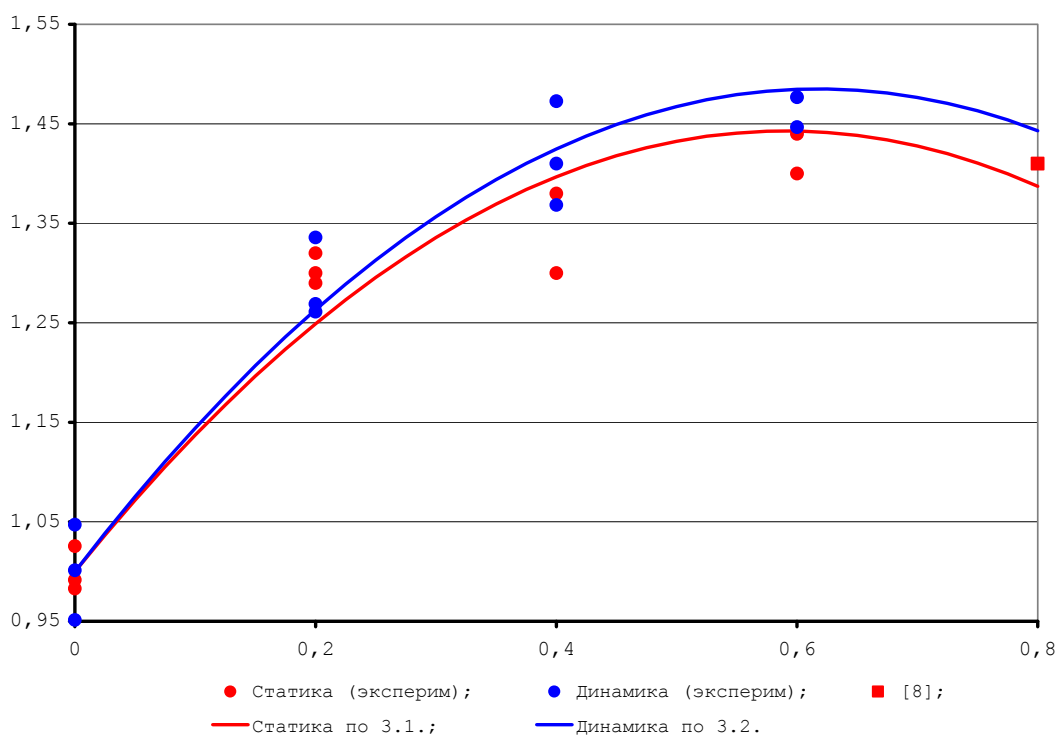


Рис. 4. Влияние вида напряженного состояния, уровня напряжения σ_2 и скорости нагружения на прочность бетона.

Затем кривые при разных уровнях напряжения σ_1 , которые зависят от величины напряжения σ_2 , расходятся, но при этом стремятся сохранить параллельность между собой характерных участков диаграммы (для данной скорости роста напряжений). В тоже время, с увеличением уровня σ_2 изменяется протяженность этих участков и величины напряжений и деформаций, соответствующие их границам (подробнее данный вопрос освещается при рассмотрении параметрических точек процесса деформирования).

Сопоставление полученных экспериментальных данных с данными других исследователей показывает, что практически во всех опытах, где измерялись деформации, наблюдалась аналогичная картина, причем не только в случае двухосного непропорционального сжатия, но и при двухосном сжатии, осуществляемом в режиме

простого нагружения, и при различных режимах нагружения в условиях трехосного сжатия

В указанной литературе также отмечается, что кривые продольных деформаций, соответствующие различным уровням σ_2 , не только совпадают на начальном участке, но и с возрастанием напряжения σ_2 каждая последующая кривая является огибающей к предыдущей. Это утверждение подтверждается в наших статических и динамических экспериментах.

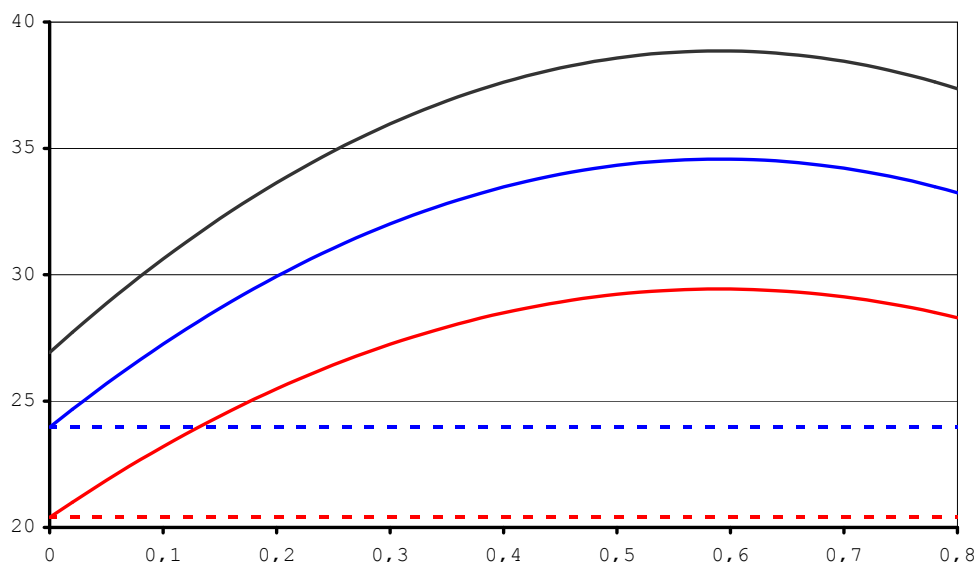
Развитие поперечных деформаций на втором этапе сложного нагружения двухосным сжатием в направлении действия напряжения σ_2 и в свободном направлении как при статическом, так и динамическом нагружении происходит с различными коэффициентами поперечных деформаций ($\nu_{2-1} \neq \nu_{3-1}$). Это явление применительно к статическим опытам на двухосное сжатие в условиях сложного нагружения отмечалось в литературе и трактовалось как «силовая анизотропия». Отмечается более интенсивное развитие поперечных деформаций в свободном направлении, то есть $\nu_{3-1} > \nu_{2-1}$. Проявление силовой анизотропии повышается с увеличением напряжения σ_2 .

Как известно, обобщенный закон Гука записан с использованием принципа независимости действия сил и законов связи напряжений при элементарных напряженных состояниях (одноосном растяжении и сдвиге), т.е. предполагает равенство коэффициентов поперечных деформаций (коэффициента Пуассона), характеризующего развитие деформаций по главным направлениям. Реализуемый в наших экспериментах способ создания двухосного напряженного состояния моделирует независимое действие сил в результате которого создается сложное напряженное состояние, и проявление силовой анизотропии свидетельствует о том, что применительно к бетону зависимость между напряжениями и деформациями, основанная на использовании закона Гука, требует корректировки.

Также следует учитывать, что при $\sigma_1 < 0,5R$ коэффициенты поперечных деформаций сохраняют достаточно стабильные значения. По мере повышения значений напряжения σ_1 указанные коэффициенты также увеличиваются. Такое поведение коэффициентов поперечных деформаций следует связывать с процессом микротрещинообразования.

Кроме того, отмечено повышение предельных деформаций. Так, например, увеличение предельной продольной деформации при $\sigma_2 = 0,6R_b$ по сравнению с одноосным сжатием составляет 60%.

Наличие напряжения σ_2 сказывается также и на величине предельных поперечных деформаций. Так, деформации ε_2 в направлении напряжений σ_2 меньше предельных значений поперечных деформаций ε_0 при одноосном сжатии, а предельные деформации ε_3 в свободную незагруженную сторону превышают значения ε_0 (и это различие увеличивается с ростом напряжения σ_2). При этом суммарно $\varepsilon_2 + \varepsilon_3$ превышают значение ε_0 вне зависимости от уровня σ_1 (рис. 5.).



Статика: 1 - одноосное сжатие; 2- двухосное сжатие;
 Динамика: 3- одноосное сжатие, $\sigma=470$ МПа/с; 4-двухосное сжатие, $\sigma=470$ МПа/с;
 5 - двухосное сжатие, $\sigma=10000$ МПа/с.

Рис. 5. Пример сравнение значений прочности бетона, определенной с учетом вида напряженного состояния и скорости нагружения, со значением призмочной прочности.

Оценку влияния вида напряженного состояния и уровня напряжения σ_2 на величину деформаций бетона с учетом первого и второго этапов нагружения при двухосном сжатии удобно производить на основании графика полных объемных деформаций. Анализ полных деформаций (с учетом деформаций, развивающихся на первом этапе нагружения) является важным и с точки зрения объяснения причин упрочняющего действия напряжения σ_2 . Известно, что согласно современным представлениям о причинах разрушения бетона при сжатии, разрушение происходит из-за развития деформаций сдвига и отрыва, причем считается, что отрывной механизм является решающим. О реализации отрывного механизма судят по деформациям, развивающимся в направлениях перпендикулярных плоскости действия нагрузки (для второго этапа нагружения двухосным сжатием в наших исследованиях это деформации ϵ_2 и ϵ_3). Благодаря наличию напряжения σ_2 , в направлении действия этого напряжения происходит уплотнение материала, и, как следствие, повышение уровня напряжения σ_1 , при котором деформации сжатия ϵ_2 переходят в деформации растяжения. (При высоких уровнях σ_2 такой переход вообще может быть не осуществлен, как в наших экспериментах при $\sigma_2 = 0,6R_b$). И несмотря на то, что развитие поперечных деформаций в противоположном направлении в известной степени компенсирует снижение деформаций растяжения в направлении σ_2 , но трещины отрыва вынуждены преимущественно ориентироваться в одном направлении, и это способствует замедлению разрушения.

Анализируя вид поверхности разрушения, следует отметить, что с увеличением напряжения σ_2 , видимо, возрастает роль сдвига, так как поверхность разрушения имеет некоторый наклон к вертикали (выход поверхности разрушения на грани образца фиксировался со стороны плоскостей, через которые передавалось напряжение σ_2). Угол наклона увеличивается с повышением σ_2 , но никогда не соответствовал 45° .

Из приведенных выше сведений видно, что вид напряженного состояния и уровень второго главного напряжения существенно влияют на деформативные свойства бетона. При этом основные особенности деформирования, наблюдаемые при двухосном сжатии

при статическом нагружении (особенности диаграммы бетона, силовая анизотропия, изменение величин предельных деформаций) отмечаются и при динамическом нагружении. С другой стороны, в результате экспериментов было зафиксировано влияние динамического нагружения на деформативные свойства бетона как при одноосном, так и двухосном сжатии.

• **Особенности диаграммы " $\sigma_1 - \varepsilon_1$ " при динамическом нагружении. Оценка влияния скорости нагружения на модуль продольных деформаций.**

Основной особенностью динамической диаграммы по сравнению со статической является увеличение продолжительности начального прямолинейного участка, что свидетельствует о расширении диапазона квазиупругой работы бетона.

Кроме того, наблюдается в целом спрямление динамической диаграммы. Ее кривизна соответствует кривизне статической диаграммы только на участке близком к разрушению.

Такое изменение вида диаграммы свидетельствует об изменении по мере увеличения скорости нагружения соотношения между компонентами полной деформации: упругой, пластической и псевдопластической. Очевидно, что происходит не только называемая задержка развития пластических деформаций, как это отмечается в ряде литературных источников, но и в целом возрастает доля упругих деформаций в ущерб развитию пластических (с учетом того, что предельная величина деформаций не зависит от скорости нагружения).

Влияние скорости нагружения на модуль продольных деформаций зависит от уровня нагружения σ_1 / R . Результаты испытаний показывают, что начальный модуль продольных деформаций E_0 не зависит от скорости роста напряжений. Затем после достижения определенного уровня напряжений $\sigma_1 = 0,2R - 0,5R$, различие в величинах E начинает возрастать и соотношение E_{bd}/E_b может достигнуть 1,5 и более. Что примечательно, на этапе нагружения близком к разрушению ($\sigma_1 > 0,8R_b$) динамический E стремится сравняться со статическим.

Указанный характер изменения модуля продольных деформаций в зависимости от скорости нагружения и уровня напряжения σ_1 позволяет произвести разделение кривой « $\sigma_1 - \varepsilon_1$ » на участки деформирования с модулем деформаций, практически независящим от скорости роста напряжений, и участки, где это влияние нужно учитывать. Отмеченная зависимость E от скорости нагружения и σ_1 / R характерна как для одноосного, так и двухосного сжатия.

• **Особенности развития поперечных деформаций при динамическом нагружении. Влияние скорости нагружения на значения коэффициентов поперечных деформаций.**

Если сравнивать значения статического и динамического дифференциальных коэффициентов поперечных деформаций при одноосном сжатии, соответствующие одному и тому же значению напряжения σ_1 , то наблюдаем следующее. До некоторых значений напряжения σ_1 (примерно $0,5R_b$), коэффициенты поперечных деформаций при статике и динамике совпадают. При дальнейшем повышении напряжения σ_1 коэффициент поперечных деформаций при статике увеличивается более существенно, чем при динамике. Так, при напряжениях, соответствующих статической прочности бетона, $\frac{V}{V_d}$

составляет 1,57. Принимая во внимание, что скорость нагружения влияет также и на развитие продольных деформаций, нельзя только из факта уменьшения значений динамического коэффициента поперечных деформаций по сравнению со статическим делать вывод о том, что при динамическом нагружении происходит так называемая задержка в развитии поперечных деформаций, о что отмечается в некоторых работах. Для этого необходимо сравнить величины поперечных деформаций, соответствующие одному

и тому же уровню продольных деформаций. Это сравнение показывает, что кривые соответствующие одноосному статическому и динамическому сжатию практически совпадают. Таким образом, можно говорить о том, что развитие поперечных деформаций при динамике происходит, также как и при статике, адекватно развитию продольных деформаций.

Если v и v_d сравнивать на этапах нагружения, соответствующих одинаковому σ_1 / R (величина напряжения, отнесенная к прочности для данной скорости нагружения), то в этом случае они оказываются практически одинаковыми.

Иными словами, соотношение поперечных и продольных деформаций, соответствующее схожим этапам деформирования и в том числе разрушению, не зависит от скорости нагружения.

Как отмечалось, силовая анизотропия, возникающая на втором этапе сложного нагружения при двухосном сжатии, проявляется как при статическом, так и динамическом нагружении.

Однако, в целом качественно повторяя картину деформирования при статике, процесс развития поперечных деформаций при динамическом нагружении характеризуется меньшей анизотропией. Уменьшение разницы между значениями ϵ_2 и ϵ_3 соответствует представлениям о том, что при высоких скоростях не реализуется в полной мере перераспределение усилий в процессе нагружения, благодаря которому при статике поперечные деформации более интенсивно развиваются в свободном направлении. При силовом воздействии с высокой скоростью, процесс деформирования протекает с меньшей полнотой учета существующего поля напряжений, чем при статическом нагружении, и происходит выравнивание значений поперечных деформаций.

Следует обратить внимание на то, что снижение силовой анизотропии существенно даже при относительно низких скоростях роста напряжений, которые имели место в наших экспериментах. Можно предположить, что некоторая скорость роста напряжений может быть критической с точки зрения проявления силовой анизотропии на втором этапе сложного нагружения двухосным сжатием.

• Влияние скорости нагружения на предельную деформативность бетона и величину объемных деформаций.

Таблица 7.

Влияние динамического нагружения на предельные деформации бетона при одноосном и двухосном сжатии.

Уровень σ_2	Статика			Динамика			Сравнение		
	$\epsilon_{1,u}$	$\epsilon_{2,u}$	$\epsilon_{3,u}$	$\epsilon_{1,u,d}$	$\epsilon_{2,u,d}$	$\epsilon_{3,u,d}$	$\epsilon_{1,u,d}/\epsilon_{1,u}$	$\epsilon_{2,u,d}/\epsilon_{2,u}$	$\epsilon_{3,u,d}/\epsilon_{3,u}$
$\sigma_2=0$	186,3	-83,4	-83,4	168,0	-84,5	-84,5	0,9	1,01	1,01
$\sigma_2=0,2R_b$	205,9	-69,5	-123	208,0	-64,3	-114,8	1,01	0,93	0,93
$\sigma_2=0,4R_b$	234,2	-45,0	-154,0	247,0	-60,7	-129	1,05	1,34	0,83
$\sigma_2=0,6R_b$	294,7	-14,5	-178,8	295,0	-54,6	-147,0	1,0	3,77	0,30

В таблице 7. каждое значение предельной деформации соответствует среднему значению, полученному при испытании не менее 2-х образцов при данном виде напряженного состояния, уровне бокового обжатия и скорости нагружения.

Полученные нами результаты подтверждают данные многих исследователей [121] о том, что предельная деформация при одноосном сжатии не зависит от скорости нагружения. Это обстоятельство соответствует представлению о том, что предельная деформация является в некотором роде численным выражением того объема микроразрушений, который приводит к потере прочности бетона. И представляется достаточно обоснованным, что критический объем микроразрушений не должен зависеть

от того способа, в результате которого он был создан (в том числе и от скорости нагружения).

Также закономерно прослеживается, что с повышением σ_2 различие в предельных поперечных деформациях (как ε_2 , так и ε_3), зафиксированных при статике и динамике, увеличивается. Такое изменение предельных поперечных деформаций при двухосном сжатии является проявлением снижения эффекта силовой анизотропии при динамическом нагружении, что рассматривалось выше.

Интересен также и анализ влияния скорости роста напряжений на величину объемных деформаций. Объемные деформации вычисленные с учетом всей кривой деформирования и первого этапа нагружения, определенные для близких этапов нагружения (при одинаковом напряжении σ_1 , отнесенном к прочности бетона для данного вида напряженного состояния, уровня напряжения σ_2 и скорости роста напряжений) не зависят от скорости роста нагружения. В тоже время при одинаковом значении напряжений σ_1 объемная деформация при динамике меньше, чем при статике.

Это обстоятельство в очередной раз подтверждает, что на образование одинакового объема микроразрушений при динамическом нагружении требуется прикладывать большие напряжения, чем при статике. Но объем этих микроразрушений, соответствующих одинаковым этапам деформирования и разрушению, не зависит от скорости нагружения.

В связи с этим можно предположить, что существуют такие деформационные характеристики бетона, которые являются инвариантными к скорости нагружения. Было уже сказано, что такой характеристикой можно считать предельную продольную деформацию, в дальнейшем будет показано, что продольные деформации, соответствующие верхней границе микротрещинообразования бетона, также мало зависят от скорости нагружения.

Рекомендуемая аппаратура к разделу 11.

- 1 Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении. - М.: Стройиздат, 1971. - 271 с.
- 2 Белобров И.К., Щербина В.И. Влияние быстрых загрузений на прочность железобетонных балок. В кн.: Влияние скорости нагружения, гибкости и крутящих моментов на прочность железобетонных конструкций. - М.: Стройиздат, 1970. - С. 37-87.
- 3 Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. - М.: Госстройиздат, 1962. - 96 с.
- 4 Бич П.М., Яшин А.В. Прочность тяжелого бетона и керамзитобетона при двухосном сжатии. В кн. Общие вопросы строительства (отечественный опыт). Труды ЦНИИС. - 1973. Вып. 11. - С. 47-51.
- 5 Кириллов А.П. Динамическая прочность бетона. В кн.: Динамическая прочность и долговечность железобетонных конструкций. Сборник научных трудов ВНИИ железобетона. - М. 1989. - С. 52-60.
- 6 Коробцева О.В. Работа бетона при малоцикловом и однократном динамическом нагружении в условиях сложных напряженных состояний: Дис... канд. техн. наук. Москва, 1991. - 221 с.
- 7 Малашкин Ю.Н. Деформирование и разрушение бетона в условиях сложных напряженных состояний: Дис... докт. техн. наук. Москва, 1984. - 443 с.
- 8 Малашкин Ю.Н. Прочность и деформативность бетона при сжатии с последующим растяжением // Бетон и железобетон. - 1973. № 12. - С. 25-26.
- 9 Малашкин Ю.Н., Безгодов И.М. Влияние способа приложения нагрузки на прочность бетона при осевом сжатии. В кн.: Труды координационных совещаний по гидротехнике. Свойства бетона, определяющие его трещиностойкость. - вып. 112, 1976. - Л.: «Энергия» - С. 93-96.
- 10 Малашкин Ю.Н., Тябликов Б.В. Экспериментальное исследование прочности и

- деформативности бетона в условиях трехосного неравномерного сжатия. В кн.: Исследование монолитности и работы бетона массивных сооружений.- М.:МИСИ,1975.-С.148-163.
- 1 Малашкин Ю.Н., Безгодов И.М. Оценка предельных состояний бетона при двухосном сжатии: Материалы конференций и совещаний по гидротехнике: Предельные состояния бетонных и железобетонных конструкций энергетических сооружений.-Л.:Энергоиздат,1982.
 - 12 Радионов А.К. Прочность гидротехнического бетона при динамических воздействиях. В кн.: Предельные состояния бетонных и железобетонных конструкций энергетических сооружений.-С-Пб.: Атомэнергоиздат,1993-С.143-146.
 - 13 Родевич В.В. Расчет прочности железобетонных элементов по наклонному сечению при действии кратковременной динамической нагрузки//Известия вузов. Строительство и архитектура.-2001.№8.-С.144-146.
 - 14 Шаблинский Г.Э., Коробцева О.В., Безгодов И.М. Динамическое упрочнение бетона при однократном нагружении в условиях одноосного и двухосного сжатия//Сейсмостойкое строительство. Обзорная информация.-1991.№3.-С.2-5.
 - 15 Яшин А.В., Кулманов А.К. Влияние сложного (непропорционального) нагружения на деформации и прочность бетона при трехосном сжатии. В кн.: Поведение бетонов и элементов железобетонных конструкций при воздействиях различной длительности.-М.:Стройиздат,1980.-С.4-17.
 - 16 Fumagalli E. The strength characteristics of concrete under Conditions of multiaxial compression//Cement and Concrete itsonation.-London.1968.№128.
 - 17 Kupfer H.,Hilsdorf H.,Rusch H. Behaviour of Concrete under Biaxial Stresses//ACI Journal.-1969.v.66.№8.-P.656-666.
 - 18 Langan D.,Garas F.K. The Failure of Concrete under the combined Aktion of High Shearing Forces and Beaxial Restraint//Memoria presentata al Colloquio RILLEM, - Cannes.1972.-P.1061-1088.
 - 19 Schroder H.,Opitz. Festigkeit und Verformunseigenschschsften des des Betons bei zweiachsiger Druckbeanspruchung.-Bauplanung-Bautechnik.1968.22Ig.Heft 4.-S.190-194.
 - 20 Sidney Midnes and John Nadean. Effect of loading rate of the fiexural strength of cement and mortar//The American Ceramic Soc.-1997.№56.-P.429-430.