www.engstroy.spb.ru

Инженерно-строительный журнал

научно-прикладное издание

ISSN 2071-4726

№2(4) февраль - март 2009

СОБЫТИЯ

ТЕХНОЛОГИИ

КОНСТРУКЦИИ

РАСЧЕТЫ

АНАЛИЗ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»
Инженерно-строительный факультет

Отделение повышения квалификации и профессиональной переподготовки

Курсы повышения квалификации

Приглашаются специалисты строительных и проектных организаций, в том числе непосредственно занятые в сфере строительного производства.
Курсы проводятся в течение 2-3 недель в вечернее время на базе факультета или на территории заказчика. По окончании слушателям выдается удостоверение о повышении квалификации государственного образца.
Курсы проводятся по следующим направлениям:

Наименование курса	Продолжительность	Стоимость
Технология и контроль качества строительства	*3 недели*	*18000*
Выполнение функций заказчика-застройщика	*2 недели*	*18000*
Управление строительной организацией	*2 недели*	*15000*
Календарно-сетевое планирование в строительстве	*2 недели*	*15000*
Проектирование и монтаж систем вентиляции	*3 недели*	*18000*
Проектирование, монтаж и эксплуатация систем теплоснабжения	*2 недели*	*15000*
Электроснабжение и электрооборудование объектов	*2 недели*	*15000*
Обследование строительных конструкций зданий и сооружений	*2 недели*	*150000*
Сметное дело в строительстве	*2 недели*	*16000*

Возможен подбор преподавателей и организация корпоративного курса по любой интересующей заказчика тематике в сфере строительства. Курсы проводятся как на базе факультета, так и на территории заказчика.
Университет также проводит корпоративный курс «Основы строительного дела», предназначенный для сотрудников строительных организаций, не занятых непосредственно в производстве (менеджеров, юристов, экономистов и т.п.).

Курсы профессиональной подготовки

Курсы предназначены для специалистов строительных и проектных организаций, желающих овладеть работой в программных продуктах для автоматизированного проектирования, расчета строительных конструкций, календарного и сетевого планирования.
Курсы проводятся в течение 1-2 недель в вечернее время на базе факультета. Возможна организация курса на территории заказчика в удобное ему время.
Проводится обучение по следующим программам:

- *Проектирование зданий и сооружений с использованием AutoCAD*
- *Проектирование строительных конструкций с использованием SCAD Office*
- *Проектирование зданий и сооружений с использованием Allplan*
- *Планирование и управление строительными проектами с использованием MS Project*

Контакты

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, Гидрокорпус-2, ауд. 301
552-94-60, 535-79-92
stroikursi@mail.ru, www.stroikursi.spb.ru

Инженерно-строительный журнал
научно-прикладное издание

ISSN 2071-4726

Специализированный научный журнал

Периодичность: 8 раз в год

Учредитель и издатель:

ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Адрес редакции:

195251, СПб, ул. Политехническая, д. 29, Гидрокорпус-2, ауд. 301

Главный редактор:

Вера Михайловна Якубсон

Редакционная коллегия:

Н.И. Ватин, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Технология, организация и экономика строительства" ГОУ СПбГПУ
В.А. Боровиков, д.т.н., профессор ГОУ СПбГПУ
Г.Я. Булатов, к.т.н., доцент ГОУ СПбГПУ
Г.В. Киркин, к.т.н., доцент ГОУ СПбГПУ, президент АПУИСП
И.А. Войлоков, доцент ГОУ СПбГПУ

При перепечатке ссылка на издание обязательна

Статьи, помеченные знаком Ⓟ, публикуются на правах рекламы. Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов.

Отпечатано в типографии «Цифровой типографский центр СПбГПУ»

Установочный тираж 800 экз.

Контакты:

Тел. 535-79-92

E-mail engstroy@inbox.ru

Http://www.engstroy.spb.ru

Содержание

СОБЫТИЯ

Защиты дипломов в ГОУ СПбГПУ 2
Новые технологии в реставрации 2
Нанотехнологии – не выдумка последних лет 3
Строительное образование-2009 4
В материаловедении кризиса нет 5
Дефекты и усиление 6
Монолитное домостроение 7

РАСЧЕТЫ

А.В. Перельмутер, Э.З. Криксунов, В.С. Карпиловский, А.А. Маляренко. Интегрированная система для расчета и проектирования несущих конструкций зданий и сооружений SCAD Office. Новая версия, новые возможности 10
А.В. Перельмутер, Э.З. Криксунов, Н.В. Мосина. Реализация расчета монолитных жилых зданий на прогрессирующее (лавинообразное) обрушение в среде вычислительного комплекса «SCAD Office» 13
О.В. Аверьянова. Климатические системы с тепловыми насосами и водяным контуром 19

АНАЛИЗ

Л.Л. Гошка. Климатические системы и образование патогенных минералов в организме человека 23
С.А. Старцев. Анализ причин неблагополучного состояния подвалов в Санкт-Петербурге 31

КОНСТРУКЦИИ

А.М. Корчевская, В.Н. Чечевичкин. Характеристики сорбционного модуля гидротехнического сооружения очистки ливневых сточных вод кладбищ 43
И.И. Боголепов Увеличение звукоизоляции двустенных конструкций за счет применения звукоизолирующих мостиков 46

ТЕХНОЛОГИИ

Е.В. Кишиневская, Н.И. Ватин, В.Д. Кузнецов. Перспективы применения нанобетона в монолитных большепролетных ребристых перекрытиях с постнапряжением 54
А.А. Смирнова, В.Г. Попов. Установка для приготовления термопласта 59

Защиты дипломов в ГОУ СПбГПУ

В феврале в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете проходили защиты дипломных работ и проектов. На кафедре ТОЭС инженерно-строительного факультета выпускники защищались с 14 по 17 февраля.

Выпуск инженеров по-прежнему остается главным направлением деятельности факультета. Переход на Болонскую систему идет, постепенно растет количество магистров, но пока из выпускников факультета инженеров 98%. Традиционный объект для дипломного проекта инженера по специальности «Промышленное и гражданское строительство» – многоэтажный жилой дом. В этом году таких проектов также было множество, но тематика значительно расширилась: бизнес-центры, административные здания, заводы, центры по продаже и обслуживанию автомобилей, больницы, школы, детские сады… Был представлен даже проект системы отопления и вентиляции для аэропорта в Ханты-Мансийском АО.

По итогам защит председатель Государственной аттестационной комиссии, директор по экономике холдинга «ЛенСпецСМУ» В.С. Чулгаева отметила повышение уровня работ по сравнению с прошлым годом, качественный расчеты фундаментов и строительных конструкций, разработку инженерных систем зданий. В качестве основного недостатка она выделила недостаточную разработку раздела «Технология строительства» и предложила, чтобы в дальнейшем каждый выпускник разрабатывал технологическую карту на какую-либо работу.

Поскольку инженеры, в отличие от магистров, нацелены прежде всего на решение практических задач, на их защитах всегда преобладают дипломные проекты. Но в этом году выпускники подготовили несколько дипломных работ очень высокого уровня. Николай Евгеньевич Фурманов разрабатывал тему «Гидроизоляция по системе «Белая ванна»» на основе материалов, полученных на производственной практике в Германии. Его научный руководитель – представитель компании «Roland Wolf GmbH» Эдуард Шмидтхайслер. Елена Аркадьевна Эпштейн защищала работу «Использование магнитоактивной воды при производстве пазогребневых плит». Елена Аркадьевна самостоятельно проводила серию экспериментов на базе лаборатории фирмы «Кнауф». Обе защиты были отмечены комиссией, а выпускники рекомендованы в аспирантуру. Статьи по материалам этих работ будут опубликованы в следующем номере журнала.

Текст: Вера Якубсон
Фотографии: Ольга Гамаюнова

Новые технологии в реставрации

13 февраля 2009 года в Санкт-Петербургском реставрационном лицее прошел первый семинар цикла «Новые технологии в реставрации». Он проводился по совместной инициативе Министерства культуры России и НП «Росрегионреставрация». Член Президиума совета НП «Росрегионреставрация», директор ООО «НПО архитектуры, градостроительства и дизайна» Сергей Львович Сена рассказал о планах проведения цикла семинаров, посвящённых современным технологиям, применение которых в реставрации повысит эффективность в качество ремонтно-реставрационных работ, увеличит межремонтные периоды на объектах культурного наследия.

На семинар прибыли специалисты в области реставрации и смежных отраслей: археологии, геодезических изысканий, поставщики геодезических средств измерений, разработчики программных продуктов. Были представлены доклады, объединённые задачами изучения, исследований и диагностики объектов культурного наследия. Во второй части семинара было представлено современное геодезическое оборудование.

Дальнейшая работа цикла будет строиться на сочетании обзорных семинаров и специализированных «круглых столов», посвящённых какой-либо конкретной теме. В ходе этих мероприятий будут проводиться мастер-классы по освоению новых технологий. По предложению участников необходимо организовывать раз в год под эгидой НП «Росрегионреставрация» всероссийскую конференцию по новым технологиям в реставрации.

Елена Минина

Нанотехнологии – не выдумка последних лет

25 февраля в информационно-консультационном центре «Инновация» прошел семинар «Нанотехнологии в строительном материаловедении». Этот центр создан в рамках Комплексной программы мероприятий по реализации инновационной политики в Санкт-Петербурге на 2008–2011 годы. Владимир Александрович Зубарев отметил, что эта программа, в отличие от большинства, не была урезана в связи с кризисом, а на некоторые разделы финансирование было даже увеличено.

Основатели центра – Комитет по экономическому развитию, промышленной политике и торговле (КЭРППиТ) Санкт-Петербурга и госкорпорация «Роснано». Цель проекта – согласование интересов участников рынка нанотехнологий, а также поддержка инновационных проектов на ранней стадии развития.

На семинаре самым заметным был доклад генерального директора Научно-технического центра прикладных нанотехнологий, профессора ГОУ СПбГПУ Андрея Николаевича Пономарева «Высококачественные бетоны. Методы нанотехнологии, достижения и перспективы». Прежде всего, докладчик отметил, что его организация начала заниматься применением углеродных кластеров в 1994 г., то есть значительно раньше, чем руководство страны начало активно продвигать нанотехнологии. И за прошедшие 15 лет сотрудники НТЦ Прикладных нанотехнологий убедительно доказали, что использование нанотехнологий в создании строительных материалов не только возможно, но разумно и выгодно.

Основным направлением деятельности организации сейчас является разработка специализированных бетонов. По мнению А.Н. Пономарева, некоторый застой в разработке новых видов бетонов был связан со стандартностью строительства в советские времена. Сейчас, когда создаются совершенно новые типы сооружений, такие как, например, вантовые мосты, потребность в нестандартных марках бетона растет. На данный момент их доля в общероссийском производстве составляет 8-9%. На Западе она значительно выше – 24-25%.

Модификация бетонов осуществляется при помощи высокодисперсных центров из наночастиц фуллероидного типа, влияющих на процесс гидратации. Один из способов модификации свойств бетонов – добавление углеродных кластеров в пластификаторы. За счет этого эффективность их работы существенно увеличивается. На данный момент разработано несколько новых бетонов. Например, легкий наноструктурированный бетон уже используется в транспортном строительстве (статью об использовании нанобетона легкого см. стр. 54).

Одна из последних разработок лаборатории – новый вид неметаллической арматуры. Как известно, арматура из углепластика имеет большие преимущества перед стальной. Это отсутствие коррозии, жесткость в разы выше, огнестойкость. Но главный недостаток углепластика – несопоставимо высокая стоимость. В НТЦ Прикладных нанотехнологий была разработана углепластиковая труба, заполненная нанополимербетоном. Благодаря тому, что стержень при изгибе работает не весь, жесткостные характеристики сохраняются, а стоимость арматуры уже совсем другая.

Прошедший семинар отличался от большинства подобных качеством аудитории. Слушателей было не так много, зато это были люди, действительно заинтересованные в происходящем. Поэтому после окончания докладов участники долго не расходились и обсуждали перспективы использования нанотехнологий в реальном строительном производстве и возможные совместные проекты.

Вера Якубсон

Строительное образование-2009

26-27 февраля в Санкт-Петербурге проходила II Международная конференция «Строительное образование-2009». По итогам докладов можно отметить три основных фактора, благодаря которым именно сейчас сфера образования волнует всех участников строительного рынка.

1. Курс на инновационную экономику, провозглашенный государством. Одной из главных характеристик такой экономики, по замечанию председателя Санкт-Петербургского отделения «Деловой России» Эльгиза Идрисовича Качаева, является активное сотрудничество бизнес-сообщества и учебных заведений. Докладчик привел в пример Соглашение о сотрудничестве, подписанное недавно между «Деловой Россией» и ГОУ СПбГПУ. Этой же темы коснулась Нина Терентьевна Костина, заместитель директора Экспертного центра дополнительного профессионального образования. По ее мнению, учебных заведений, занимающихся ДПО, в городе вполне достаточно. Для качественной подготовки не хватает лишь четких требований бизнеса: чему конкретно руководители хотят обучать своих сотрудников.

Другая сторона этого же вопроса – обратная связь. По словам Рината Рауфовича Магдиева, члена Совета Санкт-Петербургского отделения «Деловой России», главным показателем качества обучения, например, в вузе является востребованность его выпускников на рынке труда. Такой мониторинг должны проводить сами учебные заведения для внутренней аттестации.

В Финляндии взаимодействие бизнеса и вузов идет очень активно. Ректор учебного центра «Rateko» при Союзе строительной промышленности Финляндии рассказал, что для организации этого процесса существует специализированный центр при правительстве Финляндии. Представители бизнеса и образования встречается несколько раз в год, итогом этих встреч становятся рекомендованные учебные планы, разработанные совместно. Особое внимание уделяется организации производственной практики: на каждом предприятии у студентов должны быть наставники – представители производства, которые проходят специальное обучение.

2. Введение саморегулирования в строительной отрасли. В стране сейчас идет процесс формирования саморегулируемых организаций (СРО), и одним из принципиальных вопросов остается аттестация и повышение квалификации сотрудников строительных компаний. Раньше уровень квалификации строителей контролировал Федеральный лицензионный центр при выдаче и продлении лицензий. СРО хотят разработать новую систему оценки квалификации кадров, поскольку старая, по словам генерального директора Российского союза строителей Михаила Юрьевича Викторова, была абсолютно ненадежной и сводилась к формальности. По его мнению, сейчас основным направлением деятельности должна быть разработка неких универсальных для всей страны учебных программ. Лариса Степановна Баринова, вице-президент Российского союза строителей, отметила в качестве основной проблемы современной системы повышения квалификации отсутствие выходного контроля. В большинстве учебных заведений по окончании курсов нет никакой выпускной работы или теста, соответственно, по наличию документа об окончании курса невозможно определить, что знает выпускник.

Представитель Ростехнадзора отметил, что существует Приказ Минздравсоцразвития №188 от 23.04.2008, в котором четко расписаны квалификационные требования к каждому сотруднику строительной организации. В соответствии с ними и должны быть составлены программы повышения квалификации и переподготовки. Докладчик отметил, что из 20 поданных в петербургский Ростехнадзор заявок прошли проверку на регистрацию в качестве Некоммерческого партнерства только две. Основной причиной отказа было именно несоответствие сотрудников организаций-членов квалификационным требованиям.

3. Экономический кризис. Гость конференции, исполнительный директор Союза домостроителей Финляндии Ким Каскиаро, говорил о том, что ситуация в жилищном строительстве в Финляндии сейчас ничем не лучше российской. И в данной ситуации очень важна профориентация молодежи. К тому времени, как нынешние абитуриенты закончат учиться, строительство снова будет расти, и потребуются квалифицированные специалисты. Если сейчас спрос на строительное образование упадет, восстанавливать отрасль будет некому. В Финляндии для профориентации молодежи был создан проект «Сила притяжения» – объединение профсоюзов. Конечно же, отметил докладчик, если представители бизнеса хотят через несколько лет получить высококлассных специалистов, они должны предоставлять нынешним студентам места для прохождения практики, работать с молодежью.

Кроме того, по мнению большинства собравшихся, экономический кризис должен стимулировать обучение персонала, поскольку в таких тяжелых условиях строительной отрасли необходимы свежие идеи, новые технологии и способы снижения издержек.

Вера Якубсон

В материаловедении кризиса нет

В конце февраля – начале марта в Политехническом университете проходила III Научно-техническая конференция «Популярное бетоноведение». У присутствующих она создала ощущение, что в этой отрасли нет кризиса: постоянно разрабатываются новые технологии, создаются новые материалы, ведутся научные исследования.

Наиболее широко была представлена секция фибробетонов. Илья Анатольевич Войлоков, доцент ГОУ СПбГПУ, заместитель главного научного редактора журнала «Популярное бетоноведение», подводя итоги, выделил области применения стальной фибры: гидротехническое строительство, обделка тоннелей, шпунтовые ограждения, бетонные полы.

Аспирант ГОУ СПбГАСУ В.Ю. Голубев рассказал об исследованиях высокопрочных бетонов на трещиностойкость. В стандартной ситуации повышение прочности ведет к увеличению хрупкости и снижению способности к пластическим деформациям. Необходимо увеличить вязкость разрушения высокопрочных бетонов. Одним из способов помешать распространению трещин и является добавление фибры. В ГОУ СПбГАСУ проводились испытания образцов высокопрочного бетона и высокопрочного сталефибробетона. Эти испытания показали значительное повышение вязкости разрушения. Также был построен график для определения необходимого процента объемного армирования.

Существуют и новые виды фибры, из полимерных волокон. Например, в ООО «Си-Айрлайд» (г. Челябинск) разрабатывается дисперсное армирование синтетическими волокнами. В 2007 г. Было запущено в производство волокно строительное микроармирующее (ВСМ) – разработка российских ученых, композиция из нескольких полимеров.

О.Н. Столяров, доцент Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна, в своем докладе рассказывал о новом виде армирования – текстильном. Как известно, у стального армирования есть свои недостатки: прежде всего, подверженность коррозии, затем большой вес, наконец, ограниченность форм и размеров изделий из железобетона. Все эти недостатки отсутствуют при армировании текстильными волокнами, нитями и полотнами. Хотя технология достаточно новая, сейчас текстильные волокна используются уже не только во второстепенных элементах, но и в несущих конструкциях.

Нить для армирования состоит из трех основных элементов: сердечник из высокопрочного стекла, углерода или арамида (эти материалы могут обладать прочностью значительно выше стали), оболочка из полипропилена или полиэтилена (дает трещиностойкость). «Оплетенная» структура таких нитей дает хорошую адгезию к бетону. Для эффективного армирования из таких нитей создается полотно, в котором они ориентированы в двух или трех направлениях действия нагрузки.

Безусловно, к перспективным технологиям относится разработка и создание наномодифицированных бетонов (см. стр. 3). О новейших разработках в этом направлении рассказывал генеральный директор Научно-технического центра прикладных нанотехнологий, профессор ГОУ СПбГПУ Андрей Николаевич Пономарев. Магистр ГОУ СПбГПУ Евгения Викторовна Кишиневская в своем докладе анализировала возможность использования одной из разработок организации А.Н. Пономарева, «нанобетона легкого», в монолитных большепролетных ребристых перекрытиях с постнапряжением. Статью Е.В. Кишиневской см. стр. 54

Еще одним актуальным вопросом конференции стали методы исследования свойств бетонов. Сергей Григорьевич Никольский, профессор ГОУ СПбГПУ, в своем докладе описывал новый экспресс- метод оценки эрозии бетона (статью С.Г. Никольского на эту тему см. Инженерно-строительный журнал, №2, 2008).

Александр Сергеевич Горшков, доцент ГОУ СПбГПУ, рассказывал об исследованиях, проводимых в ОАО СПбЗНИиПИ. В климатической камере проводились испытания конструкции стеновой конструкции из газобетона с облицовкой из силикатного кирпича. Исходя из данных о климатических условиях в регионе за последние 15 лет рассчитывались знакопеременные температурные нагрузки, интенсивность, частота и состав дождевания. В лабораторных условиях 3-4 недели испытаний соответствовали одному условному году эксплуатации стеновой конструкции. Доклад вызвал активную дискуссию: присутствующие отмечали фундаментальность исследования и необходимость подобных испытаний других многослойных конструкций, например, сэндвич-панелей.

Вера Якубсон

Дефекты и усиление

12 марта в ГОУ «Военный инженерно-технический университет» проходила научно-методическая конференция «Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций». Это мероприятие стало уже традиционным местом встречи специалистов по обследованию и усилению конструкций – конференция проходила в тринадцатый раз.

На этот раз основное внимание докладчики уделяли именно дефектам зданий и конструкций, а также методам их оценки. Так, инженер ГОУ ГАСУ в своем докладе рассказала об основных видах дефектов, которые наблюдаются при обследовании. В первую очередь, это трещины, вызванные тем, что при строительстве были полностью проигнорированы дренажные работы. Зачастую возникает ситуация, когда уже сооружен фундамент, первый этаж, и тут возникают трещины раскрытием до 1,5 см.

Вторая область – это дефекты, вызванные некачественной кирпичной кладкой. Чаще всего они возникают на стыке кладок, выполненных разными бригадами. Часто встречается также полное отсутствие виброуплотнения бетона.

Третий источник дефектов – работа с утеплителем. Часто заказчик, желая сэкономить, просто удаляет утеплитель из стен, что приводит к образованию плесени на стенах. Затем, когда возникает необходимость устранения проблемы, стены часто утепляются пенополистиролом. При этом точка росы смещается, и плесень образуется уже с другой стороны.

Здесь речь шла о дефектах, видных невооруженным глазом. Но основной проблемой обследования остается определение фактической несущей способности строительных конструкций. Докладчики отмечали плачевную ситуацию в этой области. Так, к.т.н., профессор ГОУ ВИТУ Владимир Михайлович Комич отметил, что подход к реконструкции зданий должен быть изменен. Расчетные характеристики, которые берутся за основу, - это худший вариант, закладываемый при проектировании. В реальности по результатам проведенных исследований, фактическая несущая способность оказывается на 15-20% выше, чем проектная.

Д. т.н., ведущий научный сотрудник НИЦ «26 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны РФ» Сергей Николаевич Савин говорил о том, что применяемая, в том числе, органами экспертизы локальная диагностика строительных конструкций дает неадекватные результаты. Очень часто складывается ситуация, когда строителям приходится усиливать конструкции, которые на самом деле имеют достаточную несущую способность. Это связано с тем, что прочность бетона, например, в железобетонных колоннах, очень неравномерна. По мнению С.Н. Савина, необходимо использовать интегральную диагностику, например, измерение жесткости колонн методом свободных колебаний.

Также соотношению расчетной и фактической несущей способности и различным методам контроля качества был посвящен доклад старшего преподавателя ГОУ СПбГПУ Алексея Владимировича Улыбина. Его работа посвящена неразрушающему контролю напряженного состояния металлических конструкций. Такие методы сейчас используются в машиностроении, в обследовании трубопроводов, но в строительстве широко не применяются. Так, в 2007 г. Институт машиностроения запантетовал резистивно-электроконтактный метод оценки ресурса металлических конструкций.

Непосредственно вопросы усиления строительных конструкций также рассматривались на конференции. Так, С.Н. Савин рассказал об оценке усиления железобетонных колонн углепластиком. Известно, что прочность углепластика во много раз выше, чем стали, но сомнения у специалистов по-прежнему вызывает поведение этого материала в местах стыка, реакция на знакопеременные нагрузки и т.п. Тем не менее, по данным НИЦ 26 ЦНИИ МО РФ, функцию усиления углепластик выполняет: по результатам обследования, несущая способность повышается примерно на 15%.

Доцент ГОУ СПбГПУ И.А. Войлоков говорил об усилении строительных конструкций с применением сталефибробетона (см. стр. 5).

Вера Якубсон

Монолитное домостроение

24-27 марта в ОАО «ЛЕННИИПРОЕКТ» проходила научно-практическая конференция «Развитие монолитного домостроения в жилищно-гражданском строительстве». Сегодня монолитное жилищное строительство – самое массовое: по данным Льва Моисеевича Каплана, директора Санкт-Петербургского Союза строительных компаний «Союзпетрострой», в Петербурге 76% жилья строится в монолите. Несмотря на это, используемые материалы, технологии возведения таких зданий, а также методы их расчета пока сильно отстают от темпов строительства. Именно этим проблемам и была посвящена конференция.

Многие докладчики отмечали низкий уровень внедрения новых технологий в монолитном домостроении. Владимир Юрьевич Филиппов, президент Ассоциации железобетонных изделий «Абетон», говорил о консерватизме проектировщиков, которые не закладывают в проекты новые материалы и технологии. Например, фибробетон, доказавший свои высокие эксплуатационные характеристики, по-прежнему применяется очень редко. Игорь Иванович Шикалов, представитель Методического отдела Комитета по строительству Санкт-Петербурга, рассказал о процессе разработки Региональных методических документов (РМД). Эти документы, сменившие ТСН, будут иметь рекомендательный характер. Создание этих норм происходит при сотрудничестве с центральными научно-исследовательскими и проектными организациями, и оно также показало малую долю применения нестандартных решений в проектировании.

Между тем, существует множество таких технологий, как зарубежных, так и разработанных в России. Генеральный директор ЗАО «НП ЦМИД» Галина Зосимовна Костыря и Михаил Николаевич Ваучский, д.т.н., профессор ВИТУ, рассказывали о применении самоуплотняющихся бетонных смесей (СУБС). Переход к СУБС идет очень тяжело, так же как когда-то – от вибрированных бетонов к литым. Ситуация осложняется тем, что часто за СУБС выдают бетоны, вовсе таковыми не являющиеся. Технология изготовления и испытания СУБС довольно сложна и принципиально отличается от технологии традиционных бетонов. По словам Г.З. Костыри, проблема внедрения самоуплотняющихся бетонов также в том, что строители не умеют считать экономику: если куб бетона стоит дороже традиционного, покупать не будем. В реальности при использовании СУБС экономия происходит за счет трудозатрат, затрат на технику для уплотнения бетона и т.п.

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технологии строительных изделий и конструкций» ГОУ СПбГАСУ Юрий Владимирович Пухаренко рассказал о своих разработках в области нанотехнологий. Одно из направлений исследований – наномодификация воды затворения, цель которой снижение вязкости бетонных смесей и сохранность этой характеристики во времени. Также наномодифицированные бетоны отличаются высокой морозостойкостью.

Другим принципиальным вопросом является расчет монолитных зданий. Константин Григорьевич Шашкин, к.т.н., ведущий специалист НПО «Георeконструкция-Фундаментпроект», обратил внимание на необходимость совместного расчета фундамента и надземных конструкций. Принципы такого расчета, в целом, давно известны, но практика разделения труда геотехника и проектировщика надземной части здания привела к тому, что сейчас эта идея кажется новой. Но нельзя ограничивать задачу геотехника только расчетом осадки фундамента – он должен также обеспечить безопасность наземных конструкций. Сегодня расчет осадки зданий производится неточно. К.Г. Шашкин рассказал об исследовании 15 объектов в Санкт-Петербурге с целью сравнить проектную и реальную осадку этих зданий. Проблема состоит в том, что осадка здания – непостоянная характеристика, она меняется во времени. Соответственно, грамотный расчет должен не дать какую-то цифру, а предсказать процесс, происходящий с реальным зданием. Наиболее близкие к реальности (расхождение 30%) получились при использовании рекомендованного в СНИП метода послойного суммирования. При использовании методов Егорова и изменения глубины сжимаемой толщи (СП 50-101) расхождения получились очень большие (180% и 80% соответственно).

К.Г. Шашкин рекомендует при расчете сложных систем оснований фундаментов и конструкций монолитных зданий использовать нелинейные модели расчета. При этом погрешность составляет лишь 10%. Нелинейный расчет дает следующие преимущества:

1) отсутствие искусственного ограничения сжимаемой толщи – достигается заданием очень большой площади основания;
2) корректный учет взаимодействия разных видов фундаментов (например, плитного и свайного);
3) более корректная мульда оседания за пределами фундамента.

Модели упругого основания (Винклеровское основание, модель Пастернака) также можно использовать, но значительно выше риск ошибки. В таком случае имеет смысл сравнивать с результатами метода послойного суммирования. То же касается и простейших нелинейных моделей, например, Кулона-Мора. При создании сложных моделей необходимо сравнивать их с результатами натурных наблюдений.

Доклад Ирины Алексеевны Скульской, главного специалиста КО ОАО «ЛЕННИИПРОЕКТ», был посвящен специфическому виду расчета зданий – на прогрессирующее обрушение (этому вопросы посвящена статья на стр. 13). Сейчас для высотных зданий рекомендуется проводить такие расчеты, и И.А. Скульская рассказывала об опыте ОАО «ЛЕННИИПРОЕКТ» в этой области. Расчет проводился для зданий высотой 150 м по трем моделям: удаление 4 смежных колонн подземного этажа, двух колонн первого этажа, куста из трех колонн этажа на отметке 90 м.

Вопросам высотного строительства был посвящен и доклад д.т.н., профессора ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова Александра Ильича Короткина. Институт занимается аэродинамическими исследованиями, а для высоток оценка ветрового воздействия необходима. По словам А.И. Короткина, численные методы не могут дать полную картину, поскольку турбулентность описывается незамкнутой системой уравнений. Чтобы ее замкнуть, в программные комплексы вводят константы, полученные экспериментальным путем. Рассчитывать так можно только простейшие аэродинамические процессы, а не здания. Либо нужно получать такие константы для каждой конструкции экспериментально – так делается, например, при расчете летательных аппаратов на Западе.

Что касается высотных зданий, в Европе модель каждой высотки продувается в аэродинамической трубе. Это дает достаточно точные результаты по ветровой нагрузке. В нашей стране такую проверку проводят далеко не всегда, и строят потенциально опасные высотные здания. Например, в жилых комплексах, состоящих из близко расположенных высотных объектов, возникают воздушные потоки огромной силы и непредсказуемого направления. Иногда к таким зданиям просто невозможно подойти. Отсутствие расчета аэродинамического воздействия на окна приводит к тому, что стекла просто вылетают в ветреную погоду. Также направление и силу воздушных потоков необходимо учитывать при проектировании системы вентиляции, иначе она становится неэффективной.

В особый раздел организаторы конференции вынесли наружные стены монолитных зданий. Вокруг этой темы и разворачивались основные дискуссии. Широко применяемая система «газобетон – обшивка из пустотного кирпича» рассматривалась в нескольких докладах. Дмитрий Валерьевич Курлапов, к.т.н, доцент, начальник кафедры «Строительный конструкции и механика твердого тела» ГОУ ВИТУ, в качестве одной из основных проблем отметил плохую заделку швов. Это значительно снижает паронепроницаемость таких конструкций. При низкой внешней температуре пар, проникший изнутри здания, конденсируется и замерзает, постепенно разрушая внешний кирпичный слой. Необходимое армирование сварными сетками таких конструкций очень часто игнорируется, что приводит к низкому качеству связей. Также частый дефект таких стен в том, что торцы перекрытий не находятся в одной плоскости, в результате чего может получиться изгиб внешней кладки в местах опирания на перекрытие.

Глеб Иосифович Гринфельд, начальник отдела технического развития ООО «Аэрок СПб», не отрицая проблем с облицовкой, отметил неоспоримые преимущества ячеистых бетонов в монолитном строительстве. К.т.н., доцент ГОУ СПбГПУ Александр Сергеевич Горшков рассказывал о методике и результатах исследований газобетонно-кирпичной стены в климатической камере (см. стр. 5).

Об альтернативной конструкции – системах скрепленной теплоизоляции – рассказала Татьяна Александровна Белаш, д.т.н., профессор, заведующая кафедрой «Здания» ГОУ ПГУПС. Преимущества таких систем очевидны: уменьшение нагрузки на фундамент, увеличение полезной площади. Но до сих пор вопросы вызывает теплотехнический расчет таких конструкций в целом. Существует группа факторов, которые влияют на теплотехнические свойства конструкции, но пока никак не учитываются в расчетах: дюбеля и анкерный крепеж, зазоры, условия твердения штукатурного слоя, области вокруг оконных проемов и т.п.

Говоря об использовании различных утеплителей, Д.В, Курлапов озвучил основную проблему: срок службы различных материалов от 15 до 50 лет, но до сих пор нет никакой технологии ремонта таких фасадов. Ее необходимо разработать, т.к. капитальный ремонт таких зданий уже не за горами.

Текст: Вера Якубсон

Фотографии: Наталья Головкова

Ⓟ

Бесплатное высшее образование в Швеции

Швеция – одна из немногих стран, в которой до сих пор высшее образование является бесплатным как для шведских, так и для иностранных граждан. Больше половины магистерских студентов в Швеции – иностранцы. Каждый четвертый вуз Швеции предлагает обучение в магистратуре по направлению «Строительство и инженерные сооружения» на английском языке. Прием в магистратуру осуществляется на основе бакалаврского диплома. Во многие ВУЗы могут подать заявление те, кто учатся в бакалавриате последний год. По окончанию обучения студенты получают магистерский диплом Королевства Швеции.

Для зачисления на учебу требуется заполнить заявление через Интернет, в котором можно указать сразу несколько специальностей и до 1 февраля, послать отправить необходимые документы почтой. Набор студентов осуществляется на конкурсной основе по присланным документам, а не посредством сдачи вступительных экзаменов. Результаты поступления становятся известны каждый год в мае. Студентам некоторых магистерских программ выделяется стипендия от 8000 шведских крон (порядка 800 евро) в месяц.

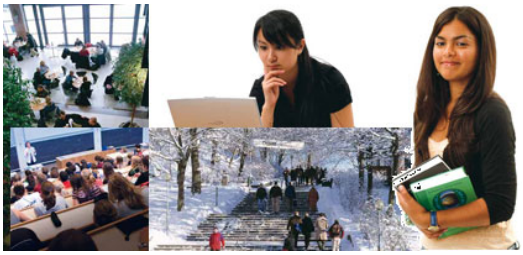
Существует несколько вариантов обучения: бакалавриат, магистратура, аспирантура.

Бакалавриат

Большинство студентов – по обмену, при условии, что существует договоренность между вузами Швеции и других стран. В ином случае, набор иностранных абитуриентов осуществляется при условии наличия аттестата о полном среднем школьном образовании и наличии сертификатов TOEFL или IELTS, подтверждающих знание английского языка. Бакалаврские программы на английском языке предлагаются в каждом третьем из шведских ВУЗов. Для бакалавров, к сожалению, не выделяются стипендии, но Миграционная служба Швеции разрешает студентам подрабатывать во время учебы без каких-либо ограничений. На проживание в Швеции студенту требуется порядка 7.300 шведских крон (примерно 730 евро) в месяц, эта сумма установлена Миграционной службой Швеции и должна быть в наличии при подаче на студенческий вид на жительство при удачном поступлении в вуз.

Магистратура

Помимо студентов по обмену, как было указано выше, в магистратуру принимаются иностранные студенты при наличии бакалаврского диплома или диплома специалиста, а также сертификатов TOEFL или IELTS. Отдельные магистерские программы запрашивают дополнительные документы, такие как рекомендательные письма, эссе, резюме, выдержки из дипломной работы и т.д. Каждый год порядка 500 стипендий выделяется иностранным студентам и аспирантам. Ряд стипендий, например, «Программа Висби» (Visby Programme) выделяются специально для России, Белоруссии, Украины.



Аспирантура

Прием на учебу осуществляется круглый год. Требованием для поступления является, чаще всего, наличие магистерского диплома или, иногда, диплома бакалавра со специализацией по профилирующему предмету. Поступление в аспирантуру предполагает самостоятельный поиск открытых позиций и изучение информации по вузам. Аспирантура является полноценной исследовательской работой, за которую платят

Над возможностью получения высшего образования в Швеции не стоит долго раздумать, поскольку недавно правительство Швеции решило сделать образование платным для студентов из стран за пределами Европейского Союза. Предположительная стоимость обучения может составить около 80000 шведских крон (порядка 8000 евро) в среднем за один учебный год. Срок введения платного образование еще не определен, но 2010-2011-й учебный год, скорее всего, будет последним бесплатным годом. Поэтому поспешите!

Инструкции для подачи на учебу на русском языке, включая информацию о специфике подготовки российских документов, можно найти на вебсайте:

www.StudyInSweden.RU

Интегрированная система для расчета и проектирования несущих конструкций зданий и сооружений SCAD Office. Новая версия, новые возможности

А.В. Перельмутер, Э.З. Криксунов, В.С. Карпиловский, НП ООО «SCAD Soft», г. Киев, Украина;
А.А. Маляренко*, ООО НПФ «SCAD Soft», г. Москва, Россия

Интегрированная система SCAD Office представляет собой набор программ, предназначенных для выполнения прочностных расчетов и проектирования различного вида строительных конструкций. В состав системы входят программы, ориентированные на решение таких задач как прочностной расчет конструкций, проверка элементов несущих конструкций из различных материалов на соответствие нормативным документам, формирование и расчет геометрических характеристик сечений, проектирования элементов стальных и железобетонных конструкций и т.п. Всего в состав системы входит более двадцати пяти программ, многие из которых информационно связаны между собой, что позволяет решать целый ряд задач проектирования в комплексе.

Режим «Монтаж»

В настоящее время выходит новая версия системы 11.3, в которой реализован ряд новых возможностей. В первую очередь это режим «Монтаж», или моделирование процесса возведения сооружения.

Процесс фактического создания сложной конструкции в общем случае является многоэтапным и тесно увязан с последовательностью выполняемых отдельных операций. При этом в том или ином порядке могут выполняться работы по установке и удалению некоторых элементов системы, установке или удалению балластных грузов, регулированию длин тех или иных элементов, изменению состояния некоторых связей и т.п. В вычислительном комплексе SCAD предусмотрена возможность задания исходных данных, т.е. описания процесса монтажа в режиме графического диалога. При этом, допускается использование в качестве подосновы для моделирования очередности возведения как независимо сформированной расчетной схемы, так и создание схемы непосредственно в режиме «Монтаж». Процесс описания монтажа включает следующие основные операции:

- назначение очередной стадии монтажа;
- назначение элементов, добавляемых на текущей стадии;
- назначение элементов, удаляемых на текущей стадии;
- формирование списка загружений и групп нагрузок, действующих на текущей стадии.

Кроме того, в программе предусмотрена возможность назначения на каждой стадии дополнительных или удаления ранее назначенных связей, задания новых коэффициентов постели, использования на различных стадиях инструмента объединения перемещений.

Кроме меняющегося состава конструкции и переменных способов ее раскрепления (т.е. меняющейся от стадии к стадии структуры системы), на показатели напряженно-деформированного состояния могут оказывать влияние и другие переменные параметры задачи. К ним можно, например, отнести изменяющиеся во времени прочностные и жесткостные показатели свежеуложенного бетона. Несмотря на то что такие параметры меняются непрерывно, это изменение можно привязать к стадиям монтажа и приближенно считать дискретным. В связи с этим на каждой стадии монтажа может быть задан коэффициент к начальному модулю упругости, который может быть отнесен к определенным элементам модели. Например, для колонн и перекрытий этот коэффициент может задаваться разным.

При инициализации очередной стадии монтажа можно «заказать» расчет с учетом деформированной схемы. Это означает, что узлы элементов, примыкающие к уже смонтированной части конструкции, получают координаты с учетом деформаций, а другие узлы — проектные координаты.

Нагрузки, действующие на конструкцию в процессе монтажа, делятся на два типа: накапливаемые и независимые. К первому типу относятся нагрузки, которые действуют на каждом этапе монтажа на определенную часть конструкции и учитываются в расчетных сочетаниях усилий (РСУ) как постоянная нагрузка от одного загружения. Такое загружение может быть:

- частью суммарной нагрузки, остающейся навсегда в системе (например, собственный вес конструкций, смонтированных на *r*-й стадии);
- нагрузкой, приложенной в рамках *r*-й стадии монтажа, и удаляемой на некоторой *(r+i)*-й последующей стадии (например, балластные нагрузки).

В качестве накапливаемой нагрузки могут использоваться и группы нагрузок. При этом на каждой стадии монтажа конкретная группа может иметь разный коэффициент к исходному значению заданных в ней нагрузок. Это позволяет моделировать, например, расход материалов по мере возведения сооружения в местах их складирования на конструкции (коэффициент будет уменьшаться от стадии к стадии) или пополнение расходных материалов (коэффициент будет увеличиваться).

И загружения, и группы нагрузок могут задаваться как отдельно для каждой стадии, так и на все результирующую конструкцию целиком. При этом в процессе расчета на каждой стадии монтажа будут учтены только те нагрузки, которые относятся к узлам и элементам, присутствующим в схеме на этой стадии.

Независимые загружения могут действовать как на результирующую конструкцию, так и на различных стадиях монтажа. Они являются самостоятельными, могут иметь любой тип, а напряженно-деформированное состояние конструкции, создаваемое ими, относится только к той стадии, где они проявляются. В качестве таких нагрузок могут выступать ветровые загружения, сейсмика и т.п. С их помощью организуются проверки прочности частично собранной системы.

Полезные нагрузки, действующие на все сооружение целиком, задаются на последней стадии монтажа, которая рассматривается как окончательный расчет готового объекта.

Список загружений, на основе которых выбираются РСУ, формируется автоматически. При этом загружения разных стадий монтажа автоматически объявляются взаимоисключающими. Логику взаимодействия всех загружений для каждой стадии монтажа задает пользователь. Накапливаемое (базовое) загружение всегда имеет статус «постоянного», а для всех остальных загружений учитывается только та их часть, на которую было изменено базовое загружение.

Анализ результатов выполняется по тем же правилам, что и при традиционном расчете конструкций. При выборе загружения, для которого выполняется визуализация результатов, программа автоматически определяет стадию монтажа, к которой принадлежит загружение, и показывает только часть схемы, относящуюся к анализируемой стадии. Подбор арматуры в элементах железобетонных конструкций и проверка и подбор сечений в элементах стальных конструкций выполняется на основе РСУ для полной расчетной модели.

При необходимости любая из стадий монтажа может быть выделена в отдельный проект и представлена как самостоятельная расчетная схема.

Эффективные скоростные решатели

В версии 11.3 вычислительного комплекса SCAD используется новый вариант прямого решателя на основе многофронтального метода. Кроме повышенного быстродействия, по сравнению с решателем версии 11.1 в нем реализована возможность параллельных вычислений на многоядерных персональных компьютерах.

Эффективность используемых алгоритмов позволила для однопроцессорных компьютеров увеличить размерность решаемых задач и одновременно почти в два раза сократить время их решения. В таблице 1 представлены сравнительные характеристики решателей версий 11.1 и 11.3. Данные получены для расчетной модели многоэтажного здания из монолитного железобетона с более чем 800000 неизвестных.

Таблица 1. Сравнительные характеристики решателей версий 11.1 и 11.3

Наименование операции	Время решения	
	Версия 11.1	Версия 11.3
Разложение матрицы	10мин 46с	5мин 20с
Фронтальная факторизация	6мин 43с	3мин 48с
Подстановки	0мин 55с	1мин 3с
Общее время счета	18мин 24с	10мин 11с

Таблица 2. Время решения задачи с 960000 неизвестных

Количество ядер	Время решения (сек)	
	ANSYS	SCAD
1	221	226
2	176	152
4	159	121

При расчете этой же задачи на двухъядерном компьютере время решения системы уравнений составило около 6 минут.

В таблице 2 приведены данные о времени решения задачи с 960000 неизвестных на одно, двух и четырехъядерном компьютерах вычислительными комплексами ANSYS (версия 11.0) и SCAD (версия 11.3).

Как видно из результатов, приведенных в таблице, время решения для указанных комплексов приблизительно равно и в зависимости от характера задачи может колебаться в пользу одной или другой программы.

Кроме программ, реализующих прямые методы решения систем линейных алгебраических уравнений, в состав комплекса версии 11.3 включен итерационный решатель, позволяющий эффективно рассчитывать большие задачи, включающие относительно небольшое количество правых частей.

Библиотека SCAD API

Библиотека SCAD API (Application Program Interface) представляет собой набор методов, предназначенных для работы с проектами вычислительного комплекса SCAD. Она предназначена для пользователей, владеющих навыками программирования на языке C++, и позволяет создавать собственные приложения для вычислительного комплекса. В состав библиотеки входит несколько разделов: класс CScadAPI, методы которого используются при создании и корректировке расчетных схем, класс CScadResult — для анализа результатов расчета, а также ряд вспомогательных структур, позволяющих работать с различными видами данных вычислительного комплекса.

Методы класса CScadAPI обеспечивают создание нового и чтение существующего проекта, работу с узлами и элементами, описание жесткостных характеристик, шарниров, связей, нагрузок и т.п. Кроме того, через методы этого класса можно получить доступ к характеристикам блоков препроцессора ФОРУМ.

Методы класса CScadResult обеспечивают доступ к результатам работы комплекса SCAD, в том числе к значениям перемещений и усилий, включая данные по формам колебаний и огибающим, комбинации загружений, расчетные сочетания усилий и т.п.

Используя библиотеку, пользователи смогут организовать собственный интерфейс с различными проектирующими системами, обеспечивая импорт данных в SCAD, а также передачу из комплекса результатов расчета (например, результатов подбора арматуры) для их последующей обработки другими программами.

Программы-сателлиты

В версии 11.3 продолжают развиваться программы-сателлиты.

Программа КРИСТАЛЛ (анализ стальных конструкций) расширяется путем включения дополнительных разделов, реализующих рекомендации СП 53-102-2004 «Общие правила проектирования стальных конструкций».

В программе ЗАПРОС (анализ элементов оснований и фундаментов) реализован экспорт в программу АРБАТ (анализ элементов железобетонных конструкций) данных о типе сечения и размере сваи, а также расчетная длина и характеристики тяжелого бетона с учетом коэффициента условий работы, учитывающего влияние способа производства свайных работ. Это позволяет выполнить проверку прочности материала сваи, используя для этого режим «Сопротивление ж/б сечений» программы АРБАТ.

Программа КОМЕТА (анализ и проектирование узлов стальных конструкций) дополнена новыми прототипами шарнирных баз колонн из круглых труб и двухпрокатных швеллеров, нашедших применение, в том числе, при изготовлении рекламных щитов.

В программу ДЕКОР (анализ элементов деревянных конструкций) включена проверка арок.

Все программы, входящие в систему SCAD Office, могут использоваться в среде операционной системы Vista. В рамках создания интерфейса с другими проектирующими системами реализован импорт данных из программ «Revit Structure 2009» и «ALLPLAN 2008».

**Анатолий Александрович Маляренко, ООО НПФ «СКАД СОФТ»*

Тел. раб. (499)267-40-76; эл. почта: scad@scadsoft.ru

Реализация расчета монолитных жилых зданий на прогрессирующее (лавинообразное) обрушение в среде вычислительного комплекса «SCAD Office»

Д.т.н., главный научный сотрудник ООО НПФ «СКАД СОФТ» А.В. Перельмутер;
к.т.н., директор ООО НПФ «СКАД СОФТ» Э.З. Криксунов;
инженер, заместитель директора ООО НПФ «СКАД СОФТ» Н.В. Мосина*

Термин «прогрессирующее обрушение» относится к ситуации, когда разрушение или повреждение какой-либо малой части конструкции ведет к полному или почти полному разрушению всей конструкции. Аварийные воздействия или ситуации могут быть вызваны деятельностью человека (взрывы газа, теракты, пожары, наезды транспорта, дефекты проектирования, строительства и эксплуатации зданий, неквалифицированная реконструкция с надстройкой, пристройкой, перепланировкой помещений, сопровождаемая ослаблением или перегрузкой несущих элементов и оснований) или природными явлениями (землетрясения, ураганы, оползни, неравномерные деформации оснований). Поскольку невозможно полностью исключить вероятность возникновения таких ситуаций, необходимо обеспечить определенную степень безопасности людей и сохранности их имущества за счет уменьшения вероятности прогрессирующего обрушения при локальных разрушениях несущих конструкций.

Предлагается три способа проектирования зданий, предупреждающих прогрессирующее обрушение: общее упрочнение всего здания, местное усиление и взаимосвязь элементов. В большинстве американских норм предпочтение отдается первому способу, при котором разрушение одного из элементов здания не приводит к разрушению всего строения. Местное усиление, т.е. упрочнение наиболее чувствительных мест, трудно поддается стандартизации для включения в нормы проектирования, т.к. для этого нужно четко представлять характер возможных воздействий на здание, в т.ч. террористических атак. Конструктивная взаимосвязь элементов, или непрерывность конструкции, также является способом общего или местного упрочнения.

Одним из документов, определяющих правила проектирования для предотвращения прогрессирующего обрушения, являются Рекомендации, разработанные МНИИТЭП и НИИЖБ [1], утвержденные и введенные в действие приказом Москомархитектуры в 2005 г.

Тезисно, в изложении этих рекомендаций проблема выглядит следующим образом.

1. Несущая система жилых зданий должна быть устойчива к прогрессирующему (цепному) обрушению в случае локального разрушения отдельных конструкций при аварийных воздействиях (взрыв бытового газа, пожар и т.п.).
2. Допускаются локальные разрушения отдельных несущих конструкций, но эти первичные разрушения не должны приводить к обрушению соседних конструкций, на которые передается нагрузка, воспринимавшаяся ранее элементами, поврежденными в результате аварийного воздействия.
3. Конструктивная система здания должна обеспечивать его прочность и устойчивость, как минимум на время, необходимое для эвакуации людей. Перемещения конструкций и раскрытие трещин в них не ограничиваются.
4. Устойчивость к прогрессирующему обрушению проверяется расчетом на особое сочетание нагрузок и воздействий, включающее постоянные и временные длительные нагрузки, а также воздействие гипотетических локальных разрушений несущих конструкций. Коэффициенты надежности по нагрузкам следует принимать равными единице.
5. Расчетные характеристики материалов повышают за счет специальных коэффициентов надежности. Кроме того, расчетные сопротивления умножают на коэффициенты условий работы, учитывающие малую вероятность аварийных воздействий и рост прочности бетона после возведения здания, а также возможность работы арматуры за пределом текучести.

Реализованный в комплексе SCAD [2] режим предназначен для моделирования поведения конструкций зданий и сооружений в случае аварийных воздействий, вызвавших локальные разрушения отдельных вертикальных несущих элементов. Основные расчетные предпосылки приняты в соответствии с указанными выше рекомендациями.

В основу расчета на прогрессирующее обрушение положены следующие положения:

- в качестве исходной модели конструкции здания для расчета на прогрессирующее обрушение принимается модель, полученная по результатам прочностного анализа и последующего подбора арматуры в элементах железобетонных конструкций и сечений элементов стальных конструкций;
- элементы расчетной схемы, моделирующие внезапно удаляемые элементы сооружения, объединяются в группы; количество элементов сооружения, одновременно вышедших из строя (обрушившихся), не ограничивается;
- расчет выполняется для комбинации загружений, включающей постоянные нагрузки и длительные части временных нагрузок с коэффициентом 1;
- для учета внезапности удаления элементов конструкции и эффекта падения обрушившихся конструкций вводятся коэффициенты динамичности;
- проверка элементов железобетонных и стальных конструкций, входящих в состав расчетной схемы после внезапного удаления элементов, выполняется только с учетом первого предельного состояния;
- расчетные прочностные и деформационные характеристики материалов принимаются равными их нормативным значениям;
- поскольку в результате расчета на прогрессирующее обрушение чаще всего возникают большие перемещения, рекомендуется выполнять расчет в геометрически нелинейной постановке.

Кроме того, полезно рассмотреть случай, когда инициализация прогрессирующего разрушения происходит после определенного, достаточно продолжительного периода эксплуатации, в течение которого могут реализоваться деформации ползучести. Тогда расчет в геометрически нелинейной постановке даст мене пессимистический прогноз. Такого рода вариант в настоящее время разработан и проходит тестирование.

Подготовка данных и расчет

Расчет на прогрессирующее обрушение выполняется в два этапа. Первый этап включает следующие действия:

- статический и динамический (если это необходимо) расчеты с целью определения напряженно-деформированного состояния конструкции в нормальных условиях эксплуатации (рис. 1);
- определение расчетных сочетаний усилий (РСУ);
- подбор арматуры в элементах железобетонных конструкций с учетом первого и второго (трещиностойкость) предельных состояний;
- проверка и подбор прокатных сечений элементов стальных конструкций.

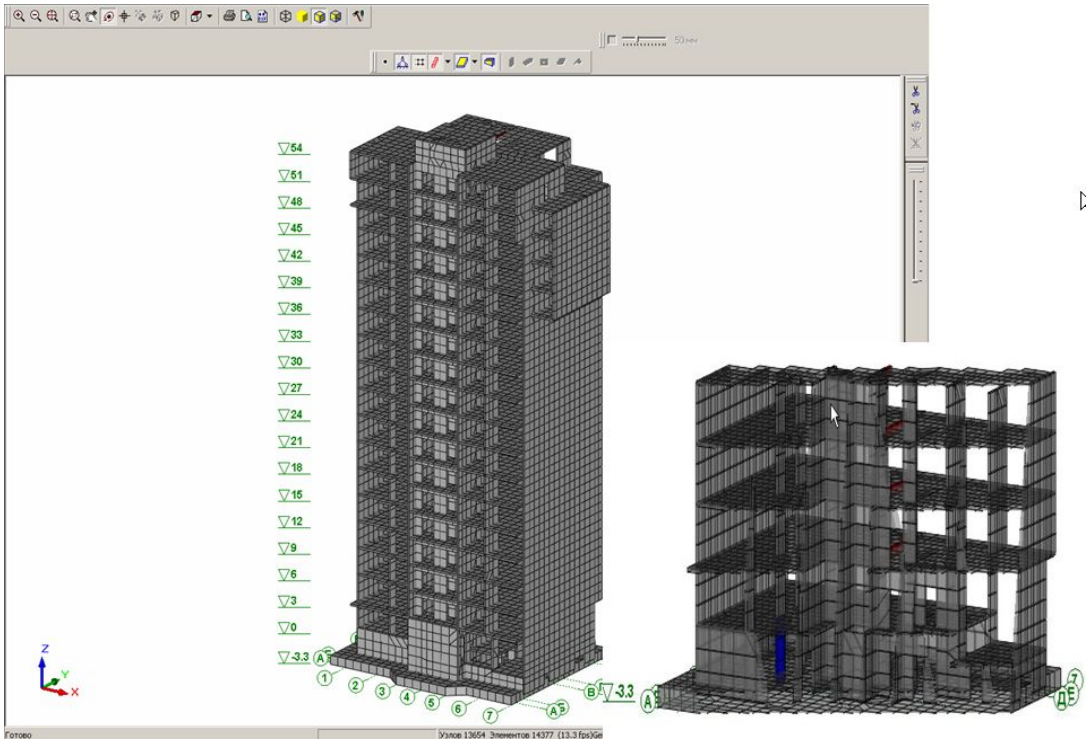


Рисунок 1. Конечно-элементная расчетная модель здания

Для выполнения второго этапа необходимы дополнительные данные, которые включают (рис. 2):

- список конечных элементов, входящих во внезапно удаляемый фрагмент конструкции (на рис. 1 эти элементы окрашены в синий цвет);
- проверочную комбинацию загружений, в которую входят постоянные нагрузки и длительная часть временных нагрузок с коэффициентом 1;
- группу нагрузок, определяющую вес обрушившихся конструкций;
- коэффициент перегрузки (динамичности) – K_f для корректировки реакции системы при внезапном удалении элемента конструкции;
- коэффициенты перегрузки – K_g для корректировки реакции системы на обрушение вышедших из строя конструкций (по умолчанию принимается $K_g = K_f = 2$);
- значение интервала неопределенности.

Если выполняется нелинейный расчет, то следует назначить метод расчета и задать соответствующие методу параметры (количество шагов, количество итераций).

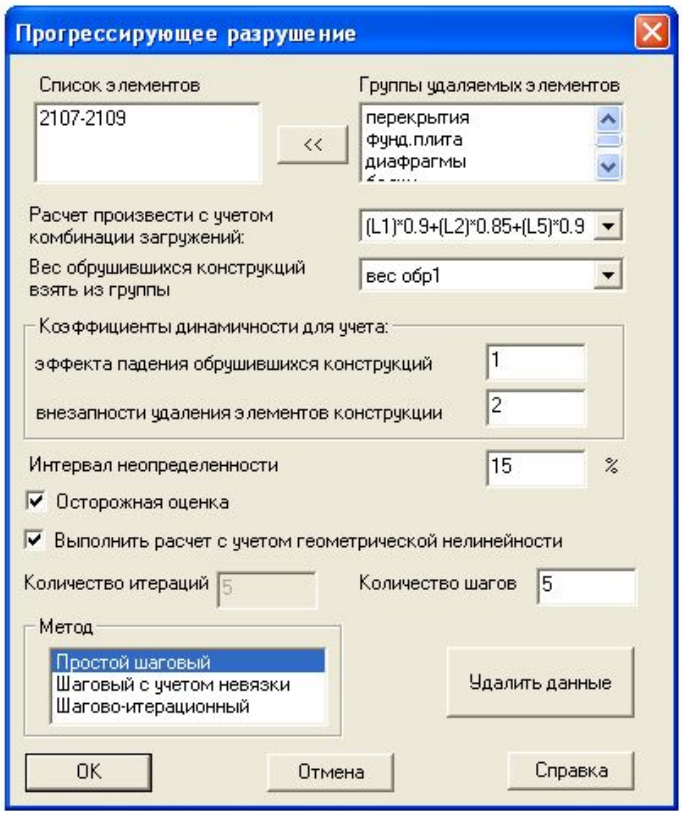


Рисунок 2. Диалоговое окно «Прогрессирующее обрушение»

В программе принят следующий порядок выполнения расчета:

- определяются реакции в узлах вышедших из строя элементов, примыкающих к остальной части схемы, от проверочной комбинации нагрузок;
- полученные значения реакций добавляются в расчетную комбинацию с коэффициентом K_f;
- в проверочную комбинацию добавляется группа нагрузок от веса обрушившихся конструкций с коэффициентом K_g;
- формируется новая расчетная схема, в которой разрушенные элементы будут неактивны;
- выполняется расчет полученной схемы на проверочную комбинацию, формируются расчетные сочетания усилий;
- выполняется экспертиза несущей способности элементов стальных и железобетонных конструкций.

Анализ результатов

Результаты расчета на прогрессирующее обрушение отображаются в графической форме в двух- и трехцветной цветовой шкале.

В двухцветной шкале элементы разделяются по цвету на работающие, у которых значение максимального по величине коэффициента использования ограничений K_{max} меньше единицы, и вышедшие из строя ($K_{max} \geq 1$). В трехцветной шкале (рис. 3) третий цвет используется для указания элементов, попавших в интервал неопределенности, т.е. таких, которые, по мнению расчетчика, с одинаковой вероятностью могут быть отнесены и к выбывшим из строя, и к работающим. Значение интервала неопределенности (в процентах от K_{max}) назначается пользователем.

Заметим, что найденные неработающие элементы – это те, которые отказали на первом же шаге процесса лавинообразного распространения обрушений. Если их включить в список конечных элементов, входящих во внезапно удаляемый элемент конструкции, и определить, куда передается нагрузка с этих элементов после их разрушения, то можно получить картину разрушений на втором шаге и т.д. Однако чаще требуется выполнить усиление элементов (может быть, не всех), попавших в неработающие по результатам первого шага, и повторить расчет уже для усиленной конструкции. Усиливаемые элементы следует объединять в соответствующие группы армирования.

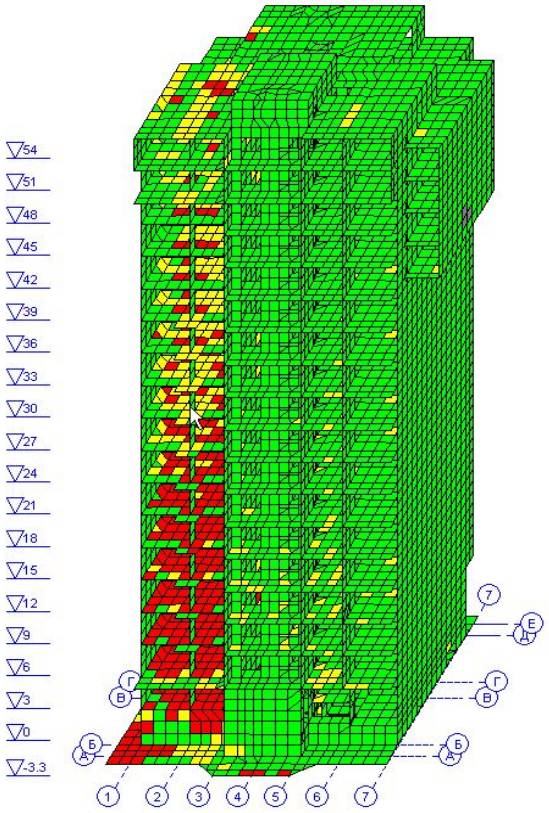


Рисунок 3. Результаты расчета на прогрессирующее обрушение в трехцветной шкале (осторожная оценка)

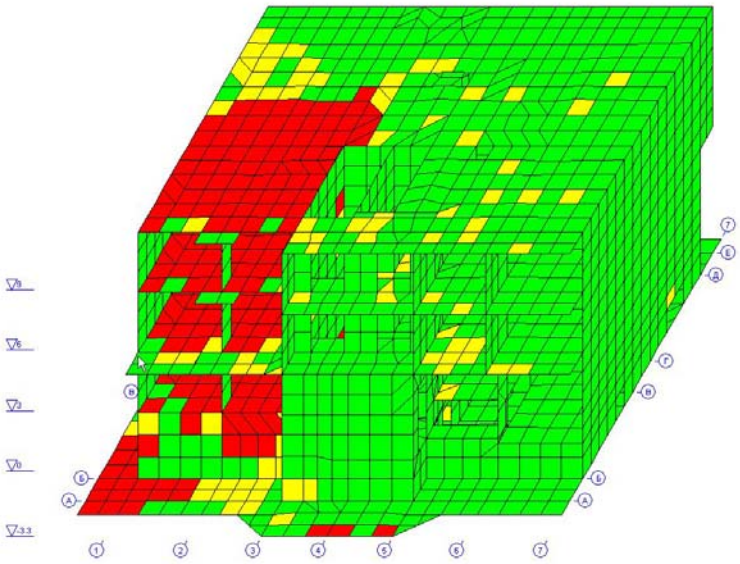
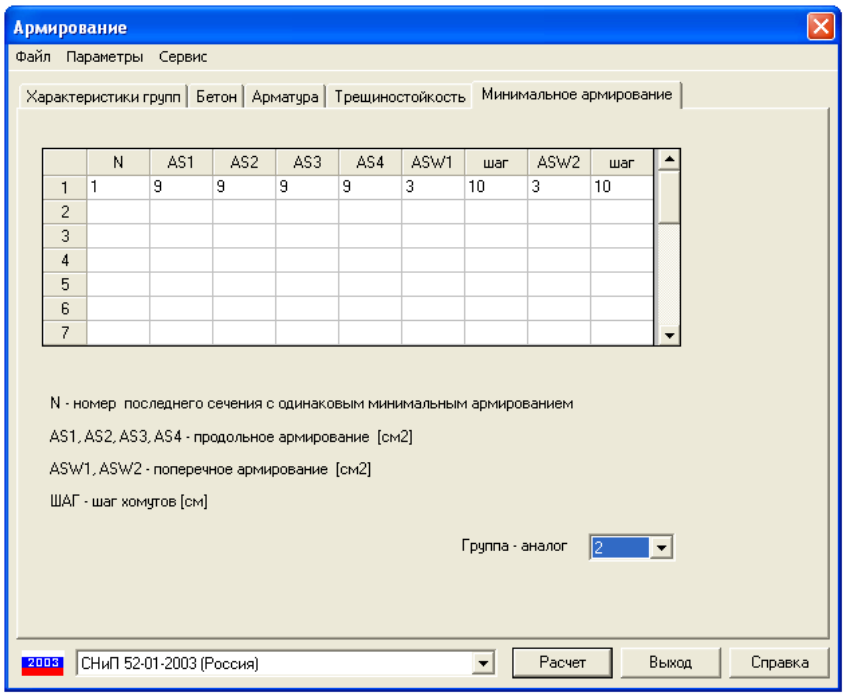


Рисунок 4. Результаты расчета в зоне обрушившегося пилона по оси 2/В (красный цвет соответствует вышедшим из строя элементам при осторожной оценке)

Задание первоначального армирования



	N	AS1	AS2	AS3	AS4	ASW1	шаг	ASW2	шаг
1	1	9	9	9	9	3	10	3	10
2									
3									
4									
5									
6									
7									

При подборе арматуры по результатам прочностного анализа в сечениях элементов преобладает арматура определенного положения. Так, например, в пролетах чаще всего необходима только нижняя арматура, а на опорах – верхняя. В результате разрушения части несущих конструкций характер напряженно-деформированного состояния элемента может измениться. Приопорные зоны перекрытий и балок, примыкающие к вышедшим из строя колонне или пилону, становятся пролетными, со всеми вытекающими отсюда последствиями. В этом случае актуальным может оказаться возможность задания некоего первоначального армирования, меньше которого в сечении быть не должно (рис. 5). Если при подборе арматуры окажется, что первоначального армирования недостаточно, то к нему будет добавлена необходимая арматура. В противном случае в сечении

Рисунок 5. Страница «Минимальное армирование»

останется заданное первоначальное армирование.

Армирование задается значением площади арматуры для каждого ее вида (продольная – нижняя, верхняя, боковая; поперечная – вдоль различных граней сечения), для каждого сечения или ряда сечений стержневых элементов, или для каждого пластинчатого элемента. Первоначальное армирование всегда одинаковое для всех элементов, входящих в одну группу армирования.

На рис. 6 и 7 приведены результаты расчета при заданном минимальном армировании в элементах перекрытий, диафрагм и пилонов в зоне обрушения. Расчет выполнен простым шаговым методом с учетом геометрической нелинейности.

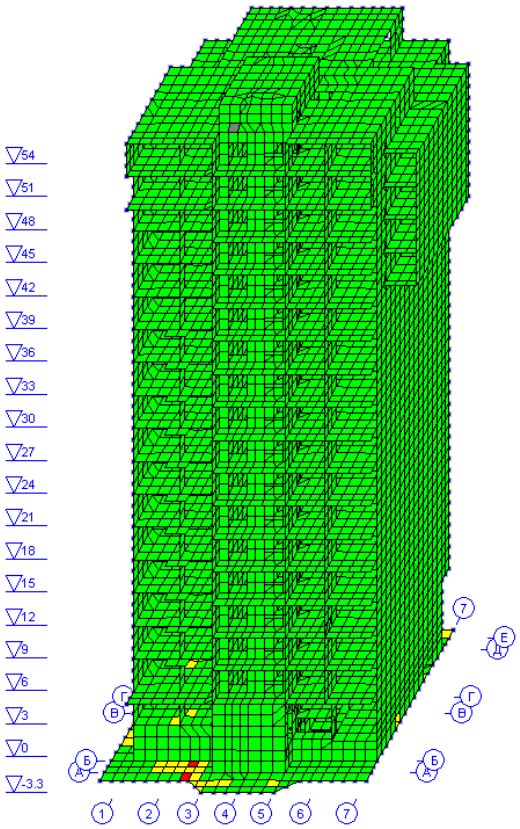


Рисунок 6. Результаты расчета на прогрессирующее обрушение в трехцветной шкале (расчет с учетом геометрической нелинейности при заданном минимальном армировании)

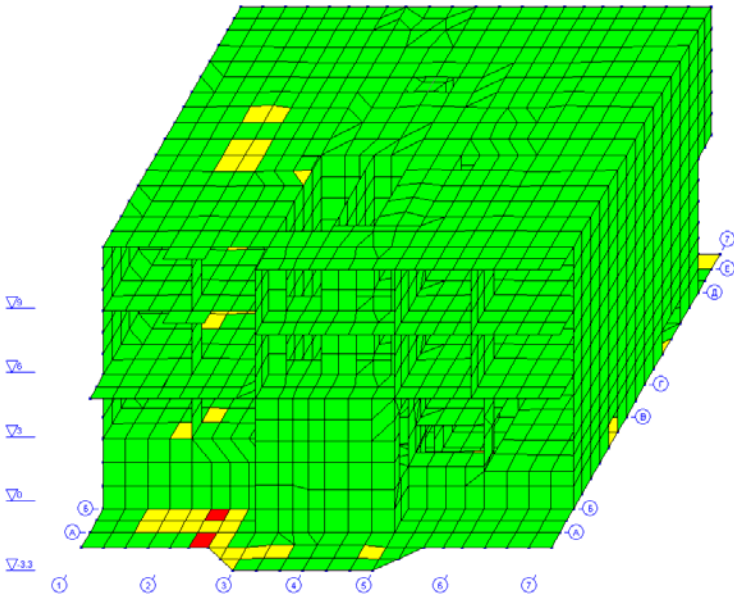


Рисунок 7. Результаты расчета в зоне обрушившегося пилона по оси 2/В (расчет с учетом геометрической нелинейности при заданном минимальном армировании)

Некоторые выводы и обобщения

При реализации данного режима авторами принималась во внимание очевидная условность исходных предпосылок, заключающаяся в следующем:

- нет достоверной информации о месте и причине возникновения процесса и характере его протекания;
- реальные параметры разрушения могут далеко отстоять от условий прочности, приведенных в нормах, т.к. известно, что расчетные значения параметров прочности могут существенно отличаться от наблюдаемых в натуре.

Кроме того, во «Временных рекомендациях по обеспечению безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях» [3], разработанных НИЦ «Строительство» и ЦНИИСК им. Кучеренко, указано, что «невозможно запроектировать и построить сооружение абсолютно безопасным и при этом не учитывать стоимость предотвращения аварийных ситуаций», а также «сооружения не могут быть совершенно свободными от риска обрушения из-за неопределенностей требований к системе, разброса технических свойств строительных материалов,

трудностей адекватного моделирования поведения системы даже с использованием современных программных комплексов».

Таким образом, в результате численного моделирования можно получить качественную оценку характеристик устойчивости конструкции по отношению к прогрессирующему обрушению, а также сопоставить несколько возможных сценариев обрушения с целью выявления слабых мест конструкции.

Литература

1. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. М., 2005.
2. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Перельмутер А. В., Маляренко А.А., Микитаренко М.А., Перельмутер М.А. SCAD OFFICE. Вычислительный комплекс SCAD для пользователя. М., 2006.
3. МДС 20-2.2008. Временные рекомендации по обеспечению безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях. М., 2008.
4. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. Киев, 2002.

** Наталья Викторовна Мосина, ООО НПФ «СКАД СОФТ»*

Тел. раб. (499)267-40-76; эл. почта: scad@scadsoft.ru

Климатические системы с тепловыми насосами и водяным контуром

Аспирант ГОУ СПбГПУ О.В. Аверьянова*

Современное общество все больше приходит к пониманию того, что природные запасы Земли небезграничны. Если человечество не изменит своих подходов, к 20-30-м годам нынешнего столетия для удовлетворения своих потребностей нам понадобятся две планеты. Поэтому необходимо искать эффективные способы изменения существующих тенденций потребления.

Ни для кого не секрет, что политика СССР не была направлена на экономию природных ресурсов. Возводилось огромное количество зданий и сооружений, где система отопления совершенно не была продумана с точки зрения рациональности потребления энергии. Теперь мы живем в другой стране, одним из приоритетных направлений развития которой является экономия и сохранение природных невозобновляемых источников энергии. Федеральный закон «Об энергосбережении» от 3 апреля 1996г. №28-ФЗ предполагает развитие добычи и производства альтернативных видов топлива, способных заменить энергетические ресурсы более дорогих и дефицитных видов.

В СНиПе 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», в разделе 11 прямо рекомендуется использовать альтернативные источники энергии. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» уже устанавливает нормативные требования к строительству зданий с учетом обеспечения климатических условий работы технического оборудования при минимальном расходе тепловой энергии за отопительный период.

Существует достаточное количество способов выполнения нормативных требований. Первый способ обеспечения энергосбережения при функционировании зданий – это значительное повышение термического сопротивления наружных ограждающих конструкций путем применения теплоизоляции, усовершенствованных конструкций и технологий. При наличии в здании наружных ограждений с повышенной тепловой изоляцией требуемая теплота на нагрев приточного воздуха составляет до 80% тепловой нагрузки на систему отопления. Отечественный опыт показал, что наиболее целесообразным методом снижения нагрузки на системы отопления является применение установки утилизации теплоты вытяжного воздуха. Также способом снижения расходов теплоты в системах отопления является автоматизация работы оборудования.

Можно рассмотреть еще один способ экономии энергии, при котором утилизируется тепло внутреннего воздуха. В США и Европе используются системы, позволяющие это сделать. Они состоят из водяного кольцевого контура и тепловых насосов, установленных в каждом помещении. В Российской Федерации такие системы пока не получили широкого распространения. Поэтому эффективные решения по их эксплуатации у нас отсутствуют.

Многозонные или многоквартирные здания обладают двумя характеристиками, важность которых часто недооценивается специалистами по вентиляции и кондиционированию воздуха, – это разброс нагрузок и их сезонные перепады.

Разброс нагрузок может быть определен как отсутствие нагрузки в одной части системы и присутствие в другой. Вероятность того, что все жильцы присутствуют в здании, все освещение и отопление включено и работает в режиме пиковой проектной нагрузки, слишком мала, и еще меньше она в больших зданиях. Большинство проектировщиков учитывает разброс нагрузок на систему охлаждения путем выбора оборудования с производительностью меньшей, чем максимальная потенциальная нагрузка. Строго говоря, разброс – это оценочный фактор. Если проектировщик ошибся, или характер пользования зданием меняется, система охлаждения становится избыточной или неадекватной.

Системы кондиционирования в многозонных зданиях имеют низкую эффективность при частичной нагрузке. При проектной величине нагрузки хорошие централизованные системы кондиционирования работают прекрасно, однако в течение большей части года они потребляют непропорциональное количество энергии, поддерживая заданные параметры, и затрачивают очень мало энергии на фактическое отопление или охлаждение здания.

Потребность в отоплении или охлаждении в каждой комнате и в любое время очевидна, но большинство централизованных систем удовлетворяет эту потребность путем «дробления» энергии, при котором кондиционирующая среда (воздух или вода) делится на две части: одна часть перегревается, а другая переохлаждается. Среда доставляется в помещение, смешивая холодную и горячую части в необходимой пропорции для достижения требуемой температуры в помещении.

Другие системы являются энергетически нейтральными, а их последние версии неправомерно называются энергосберегающими системами. По сравнению с их расточительными предшественниками, они

представляют собой значительный шаг вперед, хотя фактически не сохраняют излишки энергии для последующего использования.

Первым крупным шагом в сокращении годового потребления энергии в многоквартирных зданиях является отход от создания централизованных систем в помещениях, где они продемонстрировали свою непригодность. При этом локальное устройство для отопления и охлаждения в каждой зоне или комнате обеспечивает гарантированное сбережение энергии. Каждое такое устройство обеспечивает нагревание или охлаждение, когда потребуется, только до нужного уровня, реализуя таким образом разнообразие отопления, охлаждения и потребления электроэнергии.

Вторым шагом к энергосбережению является включение всех тепловых насосов в единый замкнутый водяной контур. Это позволяет переносить энергию из помещений, которые нужно охлаждать, в помещения, в которых недостаточно энергии. Замкнутый водяной контур обеспечивает эффективный перенос энергии (можно утверждать, что перенос энергии на значительные расстояния при помощи воздуха является наименее эффективным из всех применяемых методов переноса тепла).

В числе преимуществ, реализованных в системах с тепловыми водяными насосами, можно отметить следующие.

- Предельная гибкость зонирования.
- Максимальное разнообразие в любой момент времени: устройства работают, только когда этого требуют индивидуальные органы управления в помещении.
- Меньший объем технических помещений, поскольку не требуется объемного оборудования центрального охлаждения.
- Уменьшение общего объема здания, или увеличение его полезного объема, т.к. система трубопроводов минимальна, а основной перенос энергии происходит посредством электропроводки и неизолированных водонесущих труб.
- Уменьшение трудозатрат по установке на объекте по сравнению с центральными системами.
- Простота проектирования. Отсутствуют сложные управляющие клапана или обширная, монтируемая на месте система автоматического управления температурой.
- Максимальная надежность системы. Отказ одного устройства не влияет на работу остальных.
- Нет необходимости в привлечении квалифицированного оператора, меньше стоимость обслуживания, поскольку любое устройство можно снять, заменить запасным, а неисправное устройство отправить для ремонта в местную мастерскую, после чего вернуть в здание для использования в качестве запасного.
- Максимальная гибкость архитектуры проекта, как в части основной конфигурации здания, так и в планировке интерьера. Терминальные устройства можно устанавливать в виде подоконных консолей, подвешивать к потолку, устанавливать в шкафах, выполнять в виде больших блоков мощностью до 105 кВт и, если в помещении нет места для установки оборудования, устанавливать на крыше.
- При строительстве коммерческих или жилых зданий требуются минимальные начальные инвестиции, поскольку водяной контур может быть спроектирован и смонтирован без предварительного знания структуры организации этажей, а локальное оборудование может быть закуплено и установлено позднее, по мере необходимости.
- В основном постоянное потребление электроэнергии в течение года, с обеспечением любых дополнительных требований к отоплению, за счет ограничения потребления, или за счет использования повышения температуры воды в периоды внепикового потребления (по ночному тарифу).

Для примера рассмотрим здание с системой на основе тепловых водяных насосов.

На схеме построена теоретическая модель здания (рис.1), состоящая из двух помещений, параметры микроклимата в которых поддерживаются системой с водяным кольцевым контуром и параллельно подключенными к нему теплонасосными установками (ТНУ), располагающимися в каждом из помещений.

Модель характеризуется следующими параметрами.

Температура наружного воздуха – $t_{нар}$.

Температура внутреннего воздуха – $t_{вн}$.

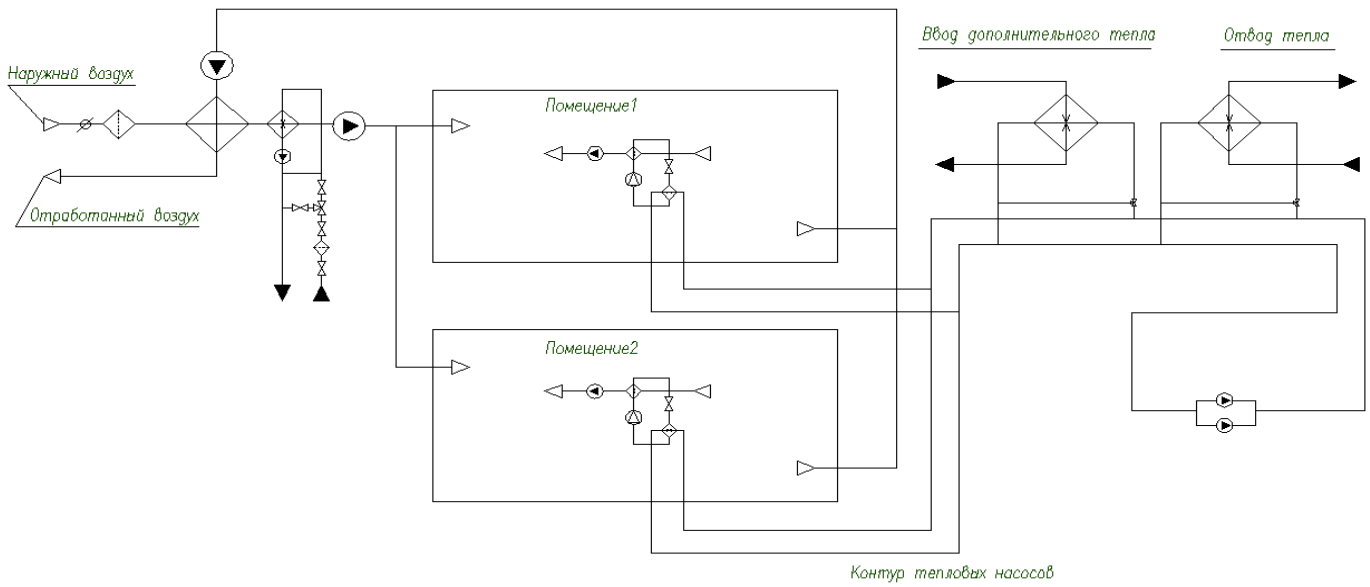


Рисунок 1. Принципиальная схема энергоэффективной системы поддержания микроклимата

При помощи системы автоматизации, которая регулирует и управляет процессами в системах вентиляции, теплоснабжения калорифера нагрева приточного воздуха, ТНУ, насосами в кольцевом контуре, можно добиться оптимальной работы системы поддержания параметров микроклимата и значительной экономии энергоресурсов.

Помещения по своей архитектуре одинаковы, приточный воздух подается в количестве ***L* м^3/ч**.

В состав системы кондиционирования входят: тепловой насос «вода–воздух», первичный контур (воздух–хладагент), вторичный контур $T_{пр}$ – $T_{обр}$ (фреон – вода). Приточный воздух забирается снаружи. В калорифере центральной вентиляционной установки воздух нагревается до температуры ***t*°C. *t*<*t*$_{вн}$**. В помещение воздух попадает с температурой ***t***, смешивается с воздухом, который находится в помещении.

В одном из помещений присутствуют теплоизбытки (Qизб), в другом помещении – теплопотери (Qпотери).

Рассмотрим первое помещение, в котором присутствуют избыточные теплопоступления в количестве $Q_{изб}$ **ккал/ч**. Приточный воздух в количестве ***L* м^3/ч** с температурой **t°C** в этом помещении должен нагреться на $\Delta t_1=t_{вн}-t$. Количество тепла, необходимое для нагрева на Δt_1, равно ***Q1:***

$$Q_1=L\cdot c\cdot y\cdot \Delta t_1$$

Избыточная часть $\Delta Q_1=(Q_{изб}-Q_1)\ \varphi_x$ (где φ_x – холодильный коэффициент) выводится из помещения с помощью теплового насоса и отдается в водяной контур, при этом температура в водяном контуре повышается до ***t*°C**.

Во втором помещении присутствуют теплопотери в количестве $Q_{потери}$. Воздух, как и в первом помещении, поступает в количестве ***L* м^3/ч** с температурой **t°C** и должен нагреться на $\Delta t_1=t_{вн}-t$. Количество тепла, необходимое для нагрева на Δt_1, также равно Q_1. Для компенсации теплопотерь воздух в помещении необходимо перегреть на $\Delta t_2=t_1-t_{вн}$, сообщив количество теплоты в количестве $Q_{потери}$. Всего во второе помещение необходимо при помощи теплового насоса из кольцевого контура привнести $\Delta Q_2=Q_{потери}+Q_1$.

Тепловой насос из водяного контура заберет следующее количество тепла:

$$Q_{потери}+Q_1=(Q_{изб}-Q_1)\ \varphi_x\cdot\varphi_T,$$

где φ_x, φ_T, соответственно, – холодильный и тепловой коэффициенты для теплонасосной установки, работающей на тепло или на холод.

При этом уменьшится температура в водяном контуре и станет, соответственно, t_x ***°C***.

Сделав несложные математические преобразования, можно получить следующую зависимость температуры ***t* °C** (***t*<*t*$_{вн}$** воздуха на выходе из калорифера приточной установки) от $Q_{изб}$ и $Q_{потери}$:

$$t=t_{вн}-\frac{Q_{изб}\cdot\varphi_x\cdot\varphi_T-Q_{потери}}{(1+\varphi_x\cdot\varphi_T)\cdot L\cdot c\cdot\gamma}$$

Мы видим, что при увеличении теплопоступлений в первое помещение уменьшается количество энергии, необходимой для первичного подогрева приточного воздуха (рис. 2).

При увеличении теплопотерь во втором помещении количество энергии, необходимой для первичного подогрева приточного воздуха, наоборот, увеличивается (рис. 3).

При увеличении количества приточного воздуха количество энергии возрастает (рис. 4).

Можно сделать вывод, что для экономии энергии необходимо подавать воздух в минимальном количестве согласно нормам, а для поддержания температурных параметров в помещении использовать рециркуляционный воздух.

В заключение несколько слов об автоматике такой системы. Датчики температуры воды в кольцевом контуре будут подавать сигнал к балансировочному клапану узла смешения на калорифере. При повышении температуры в кольцевом контуре будет уменьшаться температура подающей воды, проходящей через калорифер. Когда на выходе их калорифера температура приточного воздуха достигнет параметров, продиктованных нормативными документами, будет отключаться, соответственно, система водяного отопления. А при достижении температуры воды в кольцевом контуре выше t_T **°C** будет включаться источник холода и отводить излишки тепла. Соответственно, при понижении температуры в кольцевом контуре будет увеличиваться температура подающей воды, проходящей через калорифер. При достижении температуры воды в кольцевом контуре ниже t_x **°C** будет включаться дополнительный источник тепла.

Результаты работы рекомендуется использовать в проектировании систем отопления и вентиляции новых и реконструируемых зданий. Они имеют большую практическую значимость для собственников зданий, т.к. в процессе эксплуатации энергоэффективных систем происходит значительная экономия средств и потребляемых ресурсов.

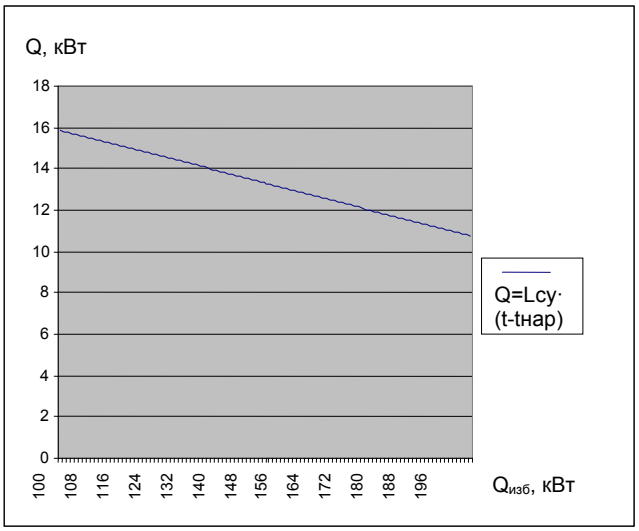


Рисунок 2

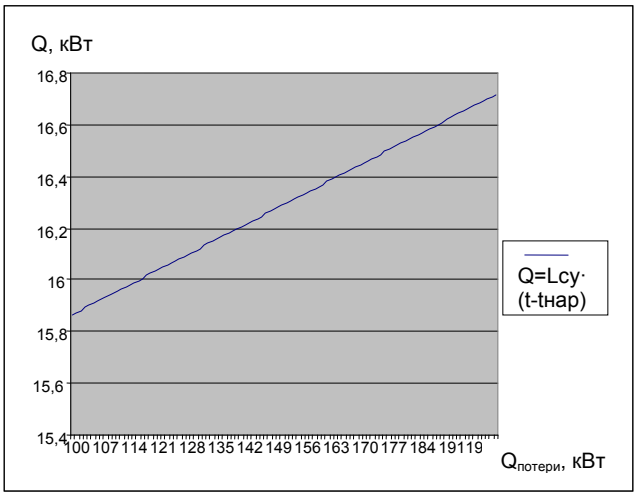


Рисунок 3

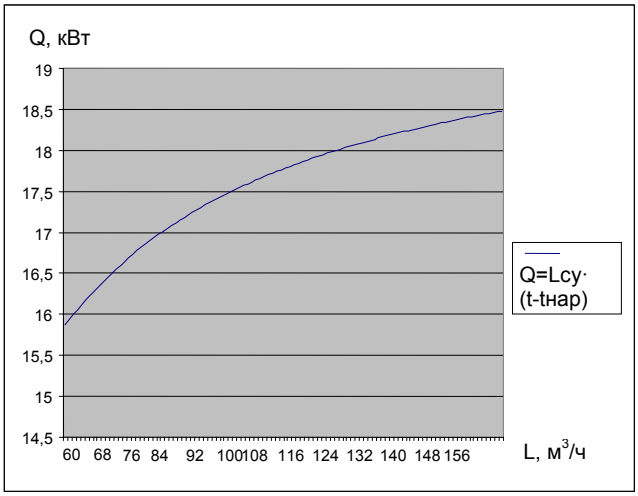


Рисунок 4

Литература

1. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. М., 1985.
2. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн.1 и 2 / Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. М., 1999.
3. Кокорин О.Я., Ставицкий Л.И., Кронфельд Я.Г. Кондиционирование воздуха в многоэтажных зданиях. – М., 1981.
4. СНиП 2.04.05.-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование. М., 2000.
5. СНиП 23-01-99 Строительная климатология. М., 2000.
6. Хайнрих Г., Найорк Х., Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения / Под ред. Б.К. Явнеля. М., 1985.
7. Энергосбережение в зданиях. Специальный выпуск № 4 (№ 2 – 1997). Киев, 1997.
8. http://es-co.ru/index.php

** Олеся Валерьевна Аверьянова, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*
Тел. раб.: 327-44-44, 327-433, доб. 5692; эл. почта: OAveryanova@bcc.ru

Климатические системы и образование патогенных минералов в организме человека

Коммерческий директор ООО «Кола» Л.Л. Гошка*

В предыдущей статье [1] было сделано предположение, что образование патогенных биоминералов, характерных для организма человека, например, отложение кальция в межпозвоночных дисках (остеохондроз), образование бляшек (атеросклероз) и т.д. можно попытаться смоделировать, используя метод кристаллизации в гелях. Для этого нам необходимо определиться:

1) с конкретным механизмом, который может приводить к образованию патогенных биоминералов в организме человека;
2) с тем, кто должен решать задачу по предотвращению образования этих патогенных биоминералов в организме человека: медицинские работники, физиологи или специалисты по климатизации зданий.

Практически все патогенные биоминералы (соли) [1] образованы основными биогенными элементами (кальцием, железом) и кислотами, входящими в буферные системы (угольная и фосфорная кислоты) организма человека. Можно предположить, что буферные системы каким-то образом участвуют в образовании патогенных биоминералов. Нам необходимо выяснить, как и почему это происходит.

Далее рассмотрим процессы, которые происходят в организме человека при повышенной концентрации углекислого газа в атмосферном воздухе (рис. 1).

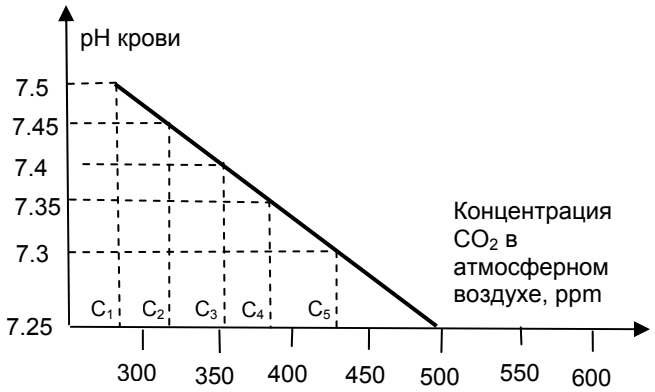


Рисунок 1.
Изменение кислотности крови (pH) с увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере [2]. Предполагается, что экспозиция данной концентрации CO_2 происходит круглосуточно и круглогодично

Кислотность во внеклеточной жидкости организма человека (концентрация ионов водорода H^+) регулируется в узких пределах [3]. Такое точное поддержание кислотности необходимо для нормального функционирования ферментных и биологических систем в организме человека. И даже небольшие изменения могут оказывать очень сильное воздействие на функции организма.

Процесс, в результате которого концентрация ионов водорода внутри организма остается практически постоянной, включает три основных компонента:

1) функционирование вне- и внутриклеточных химических буферных систем;
2) регулирование уровня CO_2 в крови с помощью альвеолярной вентиляции;
3) контроль концентрации бикарбонатов HCO_3^- в крови путем регуляции почечной экскреции ионов водорода H^+.

В результате метаболизма углеводов и жиров в сутки образуется 15000 ммоль CO_2, и если легкие окажутся не в состоянии выделять CO_2, будет наблюдаться прогрессирующее накопление угольной кислоты. При ее диссоциации образуются ионы водорода, а это может привести к резкому изменению кислотности. Для предотвращения резкого изменения концентрации ионов водорода H^+ существуют вещества, называемые буферами.

Буферы-соединения [4] обладают способностью связывать или отдавать ионы H^+ и OH^-, и тем самым удерживать на незначительном уровне изменения pH, возникающие при добавлении или оттоке этих ионов. Каждый буфер эффективен в определенном интервале pH, который зависит от значения pK буфера. К физиологически важным буферным системам относятся белки (в крови, прежде всего, гемоглобин), фосфаты и система «CO_2–бикарбонат».

Общая емкость некарбонатных буферов крови составляет 47% от всех имеющихся буферов. Самая большая доля из этого, 34%, приходится на гемоглобин и оксигемоглобин. Вклад бикарбоната плазмы равен 35%, еще 18% добавляется за счет бикарбоната эритроцитов. Таким образом, 53% общей буферной емкости цельной крови приходится на систему «CO_2–бикарбонат».

Любая сопряженная пара «кислота-основание» обладает буферными свойствами, т.е. согласно реакции

$$H^+ + A^- \leftrightarrow HA \quad (1)$$

может связывать или отдавать ионы H^+. Здесь A^- – основание буферной системы (акцептор протонов), а HA – кислота буферной системы (донор протонов). При добавлении H^+ основание A^- переходит в молекулярную форму с образованием кислоты HA; при оттоке ионов H^+(добавлении OH^-) кислота HA диссоциирует на ионы A^-, поставляя ионы H^+.

В организме изменения концентраций $[H^+]$ и $[OH^-]$ могут происходить в результате притока вещества экзогенно (извне), в результате потери вещества или их образования в ходе обмена веществ.

Мера буферной способности к связыванию ионов H^+ зависит только от изменяющегося количества буферного основания A^-, мера буферной способности к связыванию OH^- – от количества буферной кислоты HA. Количество отдельных компонентов буферной системы (A^- и HA) определяется , с одной стороны, общей концентрацией буфера $[A^-]$ + [HA], с другой – степенью его диссоциации, т.е. соотношением $[A^-]/[HA]$. Оно, согласно закону действующих масс, получается из уравнения

$$[H^+]\cdot[A^-]/[HA]=K^{/}, \quad (2)$$

где $K^{/}$ – константа равновесия или диссоциации пары «кислота-основание».

В логарифмированной форме уравнение принимает вид

$$pH = pK^{/} + \lg[A^-]/[HA], \quad (3)$$

где $pK = -\lg K^{/}$.

В основе бикарбонатной буферной системы лежит реакция

$$CO_2 + H_2O = H^+ + HCO_3^-. \quad (4)$$

В логарифмированной форме закон действующих масс называется уравнением Гендерсона–Гассельбальха:

$$pH = pK^{/} + \lg[HCO_3^-]/[CO_2]. \quad (5)$$

В плазме крови при температуре 37°C $pK^{/}$ этого буфера равна 6.1. Отсюда при нормальном pH артериальной крови, равном 7.4, соотношение $[HCO_3^-]$ /$[CO_2]$ равно 20:1. Для определения концентрации растворенного CO_2 справедлив закон Генри

$$K_{раств}\cdot Pco_2 = [CO_2]_{раств}, \quad (6)$$

где $K_{раств}$ – коэффициент растворимости CO_2, $K_{раств}$=0,226 ммоль·(л·кПа)$^{-1}$.

В артериальной крови Pco_2 = 5.3 кПа (40 мм рт. ст.), откуда $[CO_2]_{раств}$= 1.2 ммоль·л$^{-1}$, а $[HCO_3^-]$ для артериальной крови составляет 24 ммоль·л$^{-1}$.

Из уравнения Гендерсона–Гассельбальха следует, что в заданной жидкости (задана $pK^{/}$) независимо могут изменяться только две из трех величин Pco_2, pH и $[HCO_3^-]$, а третья однозначно определяется согласно уравнению (5). Третью величину можно также определить по диаграмме (рис. 2) зависимости парциального давления от кислотности крови (диаграмма lg Pco_2 /pH) при различных концентрациях бикарбоната $[HCO_3^-]$.

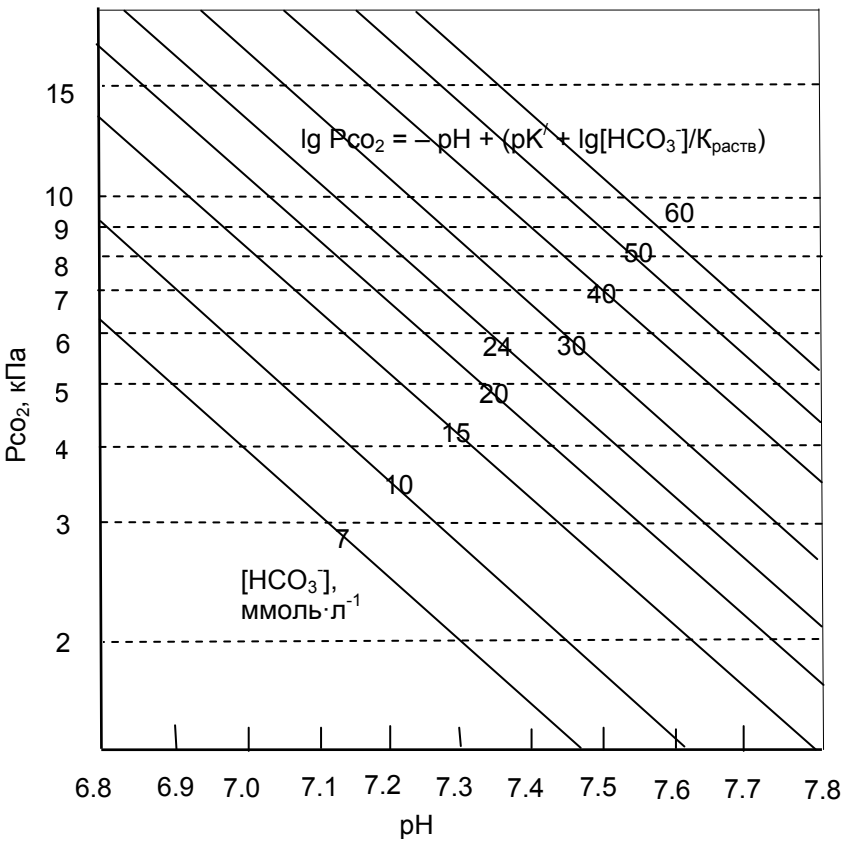


Рисунок 2. Зависимость парциального давления от кислотности крови (диаграмма lg Pco_2 /pH) при различных концентрациях бикарбоната $[HCO_3^-]$

Ионы H^+ (или OH^-), образовавшиеся в организме или поступившие извне,

сразу же связываются как с HCO_3^- (соответственно, с CO_2), так и с основаниями (соответственно, кислотами) некарбонатного буфера. При этом емкость системы «CO_2–бикарбонат» особенно велика за счет того, что концентрацию CO_2 можно регулировать при помощи легочного дыхания (так называемая открытая система).

Следовательно, для поддержания кислотно-щелочного баланса в организме особая роль отводится внешнему дыханию, эффективность которого будет зависеть от качества воздуха в помещении. При повышении P_{CO2} возникающие ионы H^+ связываются только некарбонатными буферами.

Значение $pK^{/}$ бикарбонатного буфера настолько незначительно, что трудно ожидать хороших буферных свойств при pH=7.4. То, что его буферные свойства тем не менее очень хороши, нельзя объяснить только высокой по сравнению с другими буферами концентрацией системы «CO_2–бикарбонат» (во внеклеточной жидкости $[HCO_3^-]$+ $[CO_2]$ = 25,2 ммоль·л$^{-1}$). В гораздо большей степени особенность этого буфера обусловлена тем, что при помощи альвеолярной вентиляции можно устанавливать и поддерживать на постоянном уровне концентрацию в крови (и тем самым во всем организме) одного из его компонентов – CO_2 (открытая система).

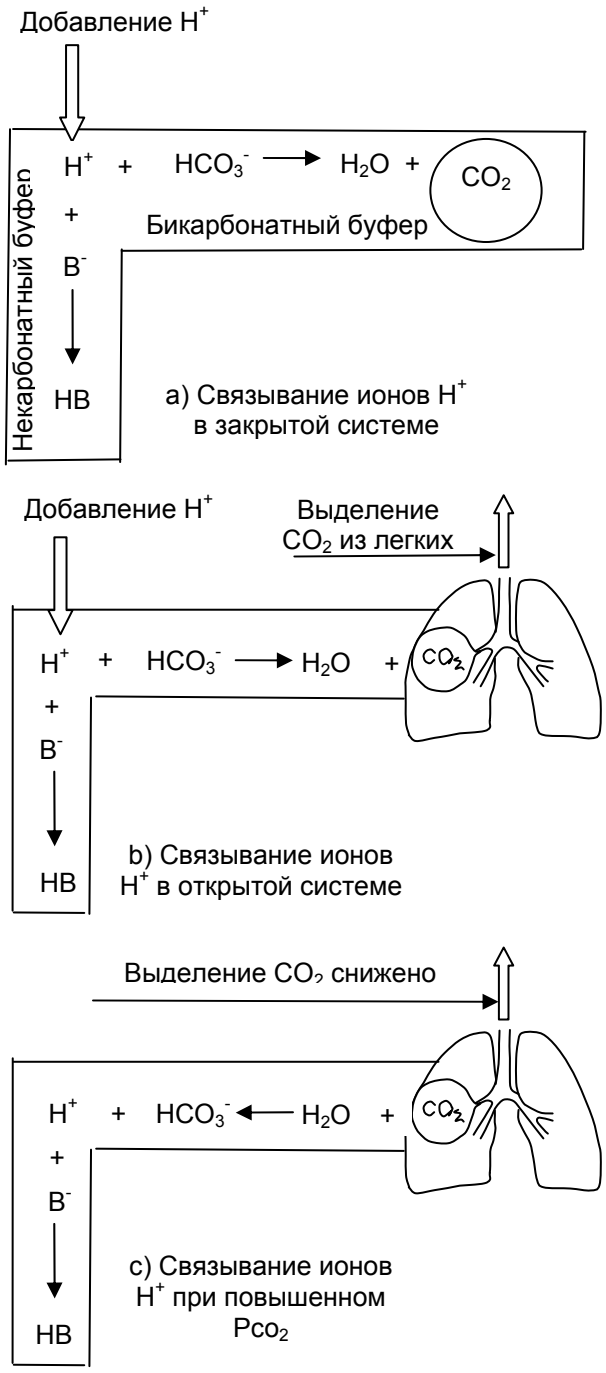


Рисунок 3. Работа буферной системы при добавлении (или образования) ионов H^+ и повышении P_{CO2}

На рис. 3, a и b, схематически показано связывание поступающих ионов H^+. Они связываются как с HCO_3^-, так и с основаниями некарбонатного буфера (B^-); возникают HB и CO_2. В закрытой системе (рис 3, a) CO_2, образующийся при добавлении ионов водорода, так же не может выйти из системы, как и HB. В этом случае вклад HCO_3^- в связывание ионов H^+ мал из-за небольшой буферной емкости. В том случае, когда образующийся CO_2 может выделяться легкими (рис. 3, b) появляется возможность для дальнейшего связывания поступающих ионов H^+ с HCO_3^-, т.е. буферная способность системы «CO_2–бикарбонат» увеличивается. Таким образом, эта открытая система имеет большую буферную емкость, чем закрытая, т.е. добавление такого же количества ионов H^+ приведет к меньшему снижению pH.

Следовательно, изменения P_{CO2} могут значительно смягчить влияние добавления или потери ионов H^+ и OH^- на значение pH. И наоборот, показатель pH меняется вслед за любым первичным колебанием P_{CO2} (например, обусловленным изменением альвеолярной вентиляции). Однако в этих случаях буферная система «CO_2–бикарбонат» ведет себя совсем иначе (рис. 3, c), чем в закрытой и открытой системах (рис. 3, a, b). При повышении $[CO_2]$ в стехиометрически равных количествах возникают ионы H^+ и HCO_3^-, и эти ионы водорода могут быть связаны только некарбонатными буферами. Таким образом, система ««CO_2–бикарбонат» не может связывать появляющиеся в результате изменения P_{CO2} ионы H^+ (или OH^-), так как они образовались как раз в ходе реакции в этой системе. Из-за этого основополагающего различия в процессах буферизации различают следующие два типа изменений в кислотно-щелочном балансе в организме человека.

1. **Нереспираторные изменения**. Они появляются в результате того, что первоначально в повышенном количестве возникают ионы H^+ или OH^-, которые образуются не через реакцию
$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H^+ + HCO_3^- .$$
2. **Респираторные изменения**. Они обусловлены первичным изменением P_{CO2}, в результате чего в реакции
$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$$
образуются ионы H^+ (и соответственно, OH^-).

Если взять чистый раствор бикарбоната с $[HCO_3^-]$ = 24 ммоль·л$^{-1}$ и pH = 7.4 и учесть, что угольная кислота образует при диссоциации кроме бикарбоната еще кристаллообразующий ион CO_3^{2-} с константой

диссоциации $K_2 = 5.61 \cdot 10^{-11}$, тогда концентрация $[CO_3^{2-}]$ будет определяться:

$$K_2 = [H^+] \cdot [CO_3^{2-}] / [HCO_3^-] \quad (7)$$

или

$$[CO_3^{2-}] = K_2 \cdot [HCO_3^-]/[H^+] \quad (8)$$

подставляем значения

$$[CO_3^{2-}] = 5.61 \cdot 10^{-11} \cdot 24 \cdot 10^{-3} / 4 \cdot 10^{-8} = 3.366 \cdot 10^{-5} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \quad (9)$$

Насыщенный раствор карбоната кальция (кальцита $CaCO_3$) определяется как

$$ПР = [Ca^{2+}] \cdot [CO_3^{2-}] \quad (10)$$

или

$$[Ca^{2+}] = ПР / [CO_3^{2-}] \quad (11)$$

Учитываем, что произведение растворимости кальцита $ПР = 3.8 \cdot 10^{-9}$ и, подставляя известные значения в формулу, получаем

$$[Ca^{2+}] = 3.8 \cdot 10^{-9} / 3.366 \cdot 10^{-5} = 1.129 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \quad (12)$$

Таким образом, если в чистый раствор бикарбоната будем добавлять ионы Ca^{2+}, тогда при $[Ca^{2+}] < 1.129 \cdot 10^{-3}$ моль·л$^{-1}$ раствор буден ненасыщенным, при $[Ca^{2+}] = 1.129 \cdot 10^{-3}$ моль·л$^{-1}$ раствор становится насыщенным, а при $[Ca^{2+}] > 1.129 \cdot 10^{-3}$ моль·л$^{-1}$ – пересыщенным. Для того чтобы раствор пришел в равновесное состояние, весь лишний карбонат кальция должен выпасть в осадок, т.е. реакция

$$Ca^{2+} + CO_3^{2-} = CaCO_3 \downarrow \quad (13)$$

должна привести раствор в состояние, когда будет выполняться условие $[Ca^{2+}] \cdot [CO_3^{2-}] = 3.8 \cdot 10^{-9}$, но выпадение карбоната кальция в осадок уменьшает концентрацию ионов CO_3^{2-} в растворе, что приводит к дополнительной диссоциации бикарбоната и к уменьшению pH в растворе.

Мы рассматривали чистый раствор бикарбоната, но плазма крови содержит ионизированный кальций.

У человека концентрация кальция в сыворотке крови поддерживается на постоянном уровне 2,25-2,5 ммоль/л. Около 50% кальция сыворотки крови ионизировано, и 10% присутствует в виде комплексных соединений, образованных цитратом, фосфатами, бикарбонатами и лактатом. Остальные 40% связаны с белком, главным образом с альбумином. Кроме этого, белок входит в некарбонатный буфер. Связь между ионизированным кальцием Ca^{2+} и концентрацией белков в крови может быть представлена следующим образом

$$[Ca^{2+}][\text{протеинат}] / [\text{белково-связанный кальций}] = K, \quad (14)$$

где [протеинат] соответствует концентрации белка в плазме крови;

К- константа равновесия.

Наиболее важным фактором, влияющим на связывание кальция с альбумином, является pH плазмы. Ацидоз понижает связывание свободного кальция в крови, в результате чего повышается содержание ионизированного кальция. Следовательно, изменение P_{CO_2} может влиять на концентрацию ионизированного кальция в крови.

Концентрация ионизированного кальция Ca^{2+} составляет 50% от всего количества кальция в сыворотке крови, и это примерно составляет от 1.125 до 1.25 ммоль/л, а расчетное предельное значение ионов кальция в чистом растворе бикарбоната у нас составило $[Ca^{2+}] = 1.129 \cdot 10^{-3}$ моль·л$^{-1}$. Таким образом, расчетное предельное значение ионов кальция в чистом растворе бикарбоната и концентрация ионизированного кальция в сыворотке крови совпадают. Отсюда можно сделать вывод, что сыворотка крови находится в преднасыщенном или в насыщенном состоянии для карбоната кальция.

Тогда отрицательное влияние воздуха в помещении на организм человека можно попытаться описать следующим образом.

Человек с улицы при функционировании организма в норме, т.е. с параметрами крови:

- кислотность pH = 7.4
- концентрацией растворенного $[CO_2] = 1.2$ ммоль·л$^{-1}$
- концентрацией бикарбоната $[HCO_3^-] = 24$ ммоль · л$^{-1}$
- концентрацией ионизированного кальция $[Ca^{2+}]$ от 1.125 до 1.25 ммоль·л$^{-1}$
- парциальным давлением $P_{CO_2} = 5.3$ кПа (40 мм рт. ст.)

попадает в помещение с высоким содержанием CO_2. Высокое содержание CO_2 в помещении приводит к повышению Pco_2 (5), (6). Диссоциация угольной кислоты понижает pH сыворотки крови и увеличивает концентрацию кристаллообразующего иона CO_3^{2-}. Для компенсации избыточного количества ионов H^+ включаются некарбонатные буфера. Белковый буфер с уменьшением pH, высвобождая ионы кальция, повышает концентрацию ионизированного кальция Ca^{2+}в сыворотке крови. Когда произведение концентраций ионов $[Ca^{2+}]$ и $[CO_3^{2-}]$ превысит произведение растворимости $[Ca^{2+}]\cdot[CO_3^{2-}]>ПР$, в осадок может выпадать карбонат кальция (кальцит) $CaCO_3\downarrow$. Выпадение в осадок карбоната кальция приводит к уменьшению кристаллообразующих ионов, тем самым вызывая дополнительную диссоциацию угольной кислоты. И этот процесс будет повторяться до тех пор, пока система не перейдет в равновесное состояние, но уже с другими значениями параметров сыворотки крови.

Поскольку этот процесс носит обратимый характер, и человек находился в помещении короткое время, после выхода на улицу процесс пойдет в обратную сторону и осадок карбоната кальция должен раствориться. Следовательно, можно предположить, что под воздействием факторов среды флуктуация значений параметров крови за короткий промежуток времени может приводить к зародышеобразованию карбоната кальция. Процесс зародышеобразования и растворения этих зародышей может играть роль своего рода буфера по поддержанию на постоянном уровне кальция в крови и дать время включиться другим механизмам компенсации недостатка или избытка кальция.

Поскольку механизмы компенсации нацелены на поддержание постоянства pH, а не нормальных концентраций HCO_3^- и CO_2, окончательная нормализация происходит только тогда, когда Pco_2 и $[HCO_3^-]$ также достигают своих нормальных значений. Поэтому процесс нормализации может происходить от нескольких часов до нескольких суток. Тогда можно предположить следующее.

1. Если под воздействием внешних факторов среды основные механизмы компенсации недостатка или избытка кальция в сыворотке крови заработают раньше, чем системы «CO_2–бикарбонат» и некарбонатных буферов придут в равновесие, тогда карбонат кальция до конца может не раствориться.
2. Карбонат кальция, который не успеет раствориться из-за компенсации кальция основными механизмами, будет являться затравкой для роста при дальнейших различных флуктуациях значений параметров сыворотки крови при воздействии внешних факторов среды.
3. Патологией является не зародышеобразование карбоната кальция, а его рост.

Отсюда можно сделать вывод, что образование патогенных биоминеральных образований – это след реакции организма на факторы среды. Но если человек 80% своего времени находится в помещении, тогда факторами среды для организма, наряду с пищей и водой, являются микроклиматические параметры и биохимический состав воздуха в помещении. Поэтому за устранение причин, которые приводят к образованию патогенных биоминералов в организме человека, должен отвечать проектировщик.

Рассмотренные выше процессы могут происходить не только в организме человека, но и на любой пористой (высокоразвитой) поверхности внутри помещения и приводить к различному конечному результату.

Если основные факторы среды в помещении, влияющие на организм человека, это биологическое и химическое загрязнение воздуха, температура и влажность воздуха, то необходимы проектные и технические решения, учитывающие эти факторы в комплексе.

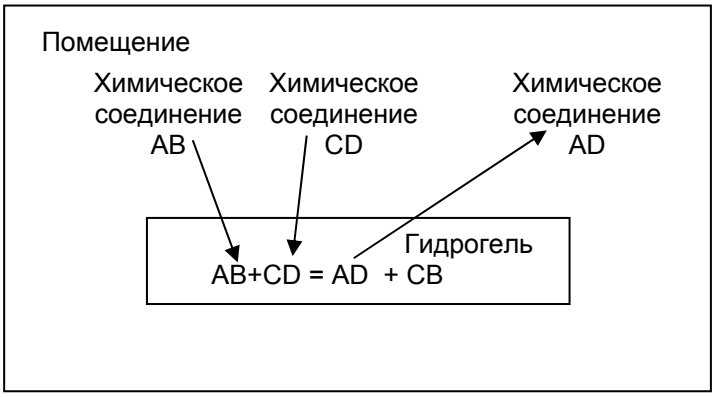


Рисунок 4. Механизм возможного образования летучего канцерогенного соединения на поверхности гидрогеля из исходных соединений AB и CD, которые могут быть совершенно безобидными для человека

На практике заказчик достаточно часто меняет вентиляционную систему на сплит – систему. Рассмотрим, является ли такая замена оборудования равноценной.

При эксплуатации в поддоне внутреннего блока кондиционера мелкодисперсная пыль и конденсат могут образовывать гидрогель с удельной поверхностью порядка 10 — 50 $м^2$/грамм и эффективным диаметром пор в несколько десятков нанометров. Кроме этого такой гидрогель может являться хотя и менее эффективной, чем гель агар-агара, но достаточно питательной средой для успешного развития различных штаммов вирусов.

Таким образом, образование гидрогеля в поддоне внутреннего блока кондиционера может приводить к появлению дополнительного источника выделений химических соединений в помещении, в т.ч. канцерогенных (рис. 4).

Но если в это же время и в этой же точке пространства будут протекать биологические процессы, то результат этих биохимических процессов на высокоразвитой поверхности может приводить к непредсказуемым последствиям для организма человека. Чтобы не допустить этого, и нужны комплексные решения по климатическим параметрам. Они необходимы еще и потому, что такие процессы могут происходить не только на поверхности гидрогеля в поддоне кондиционера, но и на любой высокоразвитой поверхности внутри помещения (например, на поверхности пористых строительных и отделочных материалов).

Отрадно отметить, что в данном направлении уже приступили к научным исследованиям [5]: «Для правильной интерпретации поведения внутреннего воздуха и определения его характеристик требуется дальнейшее изучение начатого в скандинавских странах взаимодействия между частицами газообразных или биологических загрязняющих веществ с другими веществами или с твердыми пористыми материалами при воздействии влаги или других факторов».

Ранее мы установили [1], что существует зависимость концентрации такого биогенного элемента как стронций в организме человека от расхода наружного воздуха.

$[Sr^{2+}]$~f(L) (15)

Но концентрации исходных реагентов в воздухе помещения могут влиять на химические реакции, которые могут протекать на любой высокоразвитой поверхности внутри помещения. Поэтому одним из эффективных инструментов для предотвращения образования дополнительных химических соединений в помещении может быть минимально необходимый воздухообмен в помещении, который необходимо обеспечивать в режиме круглосуточном и круглогодичном.

Таким образом, мы получаем дополнительное ограничение, которое не только определяет необходимый минимальный расход наружного воздуха (L_{min}), но и вносит изменения в режим работы систем вентиляции в нерабочее время, т.е. фоновая вентиляция должна обеспечивать расход наружного воздуха в нерабочее время в объеме не менее L_{min} (рис. 5).

Если решать задачу по поддержанию только каких-то отдельных параметров воздуха в системе «человек-воздух помещения», то мы можем нанести серьезный урон здоровью конечного пользователя этих систем.

Предположим, что заказчик поставил задачу обеспечить поддержание оптимальных параметров воздуха в помещении. Данную задачу можно решить как минимум тремя способами.

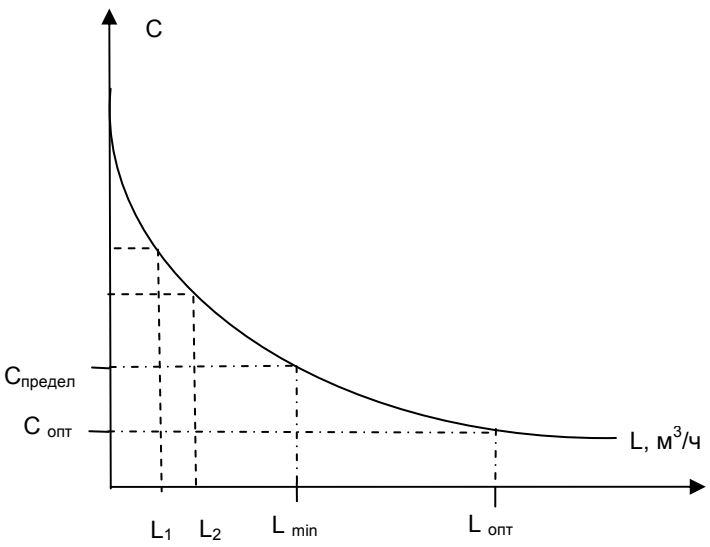


Рисунок 5. Зависимость изменения концентрации исходных реагентов в воздухе помещения (С) от расхода наружного воздуха (L).
$L_{опт}$ — оптимальный расход наружного воздуха, вариант №1;
L_{min} – минимальный расход наружного воздуха фоновой вентиляции;
L_2 – расход наружного воздуха вариант №2;
L_1 – расход наружного воздуха вариант №1;
С – концентрация исходных реагентов в воздухе помещения

1. Вариант №1. Поддержание температуры в помещении при естественной вентиляции. Обеспечиваем поддержание температуры в помещении за счет использования сплит-системы.
2. Вариант №2. Обеспечиваем поддержание нормируемой оптимальной температуры в помещении, но предусматриваем за счет системы вентиляции расход наружного воздуха в объеме 40 м3/ час на человека с учетом естественного проветривания.
3. Вариант №3. Обеспечиваем поддержание нормируемой оптимальной температуры в помещении, но предусматриваем за счет системы вентиляции расход наружного воздуха в объеме Lопт м3/ час на человека.

Для оценки $L_{опт}$ воспользуемся данными, которые приведены в статье [6]:

«Для всестороннего обоснования оптимального воздухообмена изучалась также скорость и степень эвакуации всех эндогенных загрязнений, возникающих в результате жизнедеятельности человека и эксплуатации помещений. Эти исследования, а также расчет воздухообмена, проведенный нами, с учетом

необходимости удаления тепловыделений человека, также показали, что оптимальный воздухообмен составляет порядка 200 м^3/ч на человека».

Следует отметить, что нас интересует только качественная оценка отрицательного влияния воздуха на организм человека, а не количественная, поэтому возьмем $L_{опт}$ = 200 м^3/ч на человека.

На первый взгляд, существующие нормы соблюдены.

При эксплуатации этих систем:

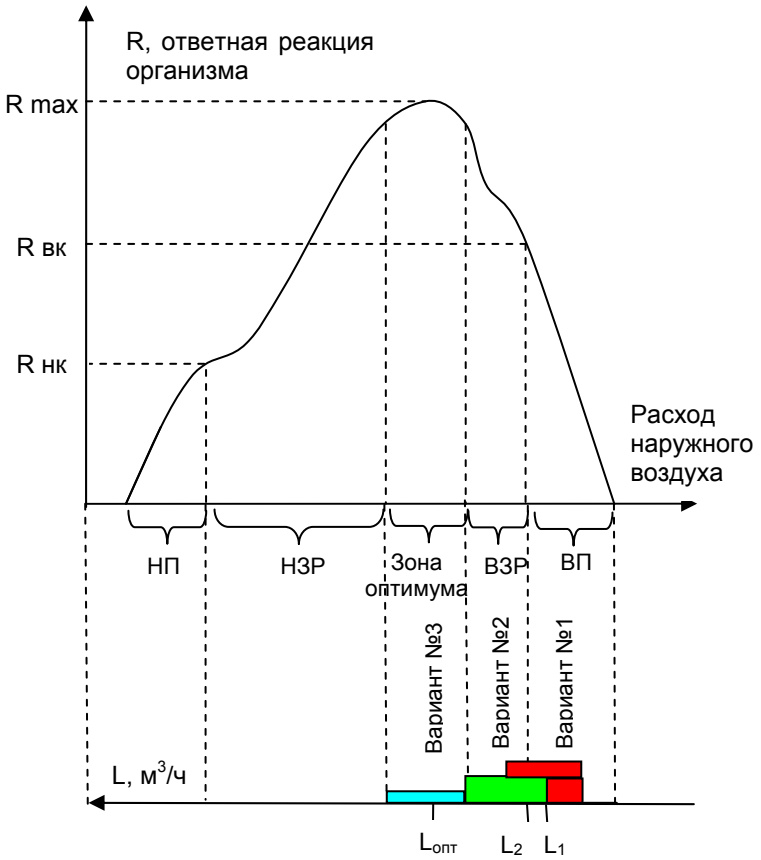


Рисунок 6. Зависимость реакции организма от расхода наружного воздуха

1. Вариант №1. Естественная вентиляция нестабильна, поэтому расход наружного воздуха будет непостоянным. При использовании данной системы вентиляции наружный воздух в помещение будет поступать без очистки.
2. Вариант №2 Система вентиляции с механическим побуждением будет гарантированно обеспечивать расход наружного воздуха объемом $L_{опт}$ = 40 м^3/ч•чел. Но в какое время проводить естественное проветривание, в нормативной документации не указано. При проветривании наружный воздух в помещение будет поступать без очистки.

Учитываем, что в соответствии с постулатами Парацельса мы получаем неопределенность в оценке риска отрицательного влияния воздуха на организм человека. Поэтому если в этих помещениях эксплуатировать системы кондиционирования воздуха, в поддоне внутренних блоков которых будет образовываться гидрогель, тогда в первом и во втором вариантах воздухообмен может быть недостаточным для предотвращения образования дополнительных химических соединений на поверхности этого гидрогеля.

В соответствии с правилом оптимума, эти варианты могут распределиться в соответствующей зоне, или частично захватывать соседнюю зону (рис. 6).

Следовательно, тогда и стоимость реализации этих вариантов будет существенно отличаться друг от друга (рис. 7), т.к. функционирование организма человека в определенной зоне требует определенного расхода наружного воздуха. В свою очередь, определенный расход наружного воздуха влияет на капитальные вложения. Кроме этого, для поддержания определенного расхода наружного воздуха в помещении требуется обеспечить систему минимально необходимым количеством энергии на нагрев наружного воздуха и работу вентиляторов.

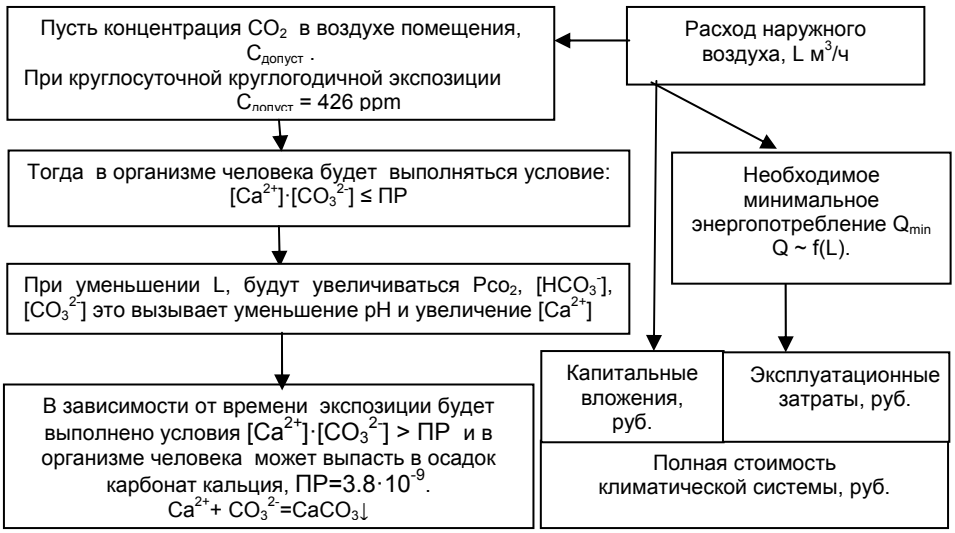


Рисунок 7. Связь расхода наружного воздуха, энергопотребления и условие образования карбоната кальция в организме человека в денежном выражении

Таким образом, увеличение расхода наружного воздуха, который необходим для функционирования организма человека в режиме нормы, приводит к увеличению полной стоимости климатической системы, т.е. приводит к увеличению себестоимости воздухоподготовки и транспортировки 1 $м^3$ в час воздуха. При этом понижается риск отрицательного влияния воздуха на организм человека.

Вывод:

При создании климатических систем из-за неопределенности в оценке риска отрицательного влияния воздуха на организм человека наши действия могут привести к риску потери здоровья или жизни конечного пользователя этих систем.

По данным П.Оле Фангера [8], ежедневно около 5 тысяч человек умирает от плохого качества воздуха. Например, влияя на концентрацию CO_2 в помещении, мы можем подавить защитные функции организма (рис. 8) и подвести человека к летальному исходу.

Для того чтобы уйти от неопределенности в оценке риска отрицательного влияния воздуха на организм человека, нам необходимо свести логическую схему нашей работы к следующему виду (рис. 9). Тем самым мы, замыкая логическую цепочку, можем попытаться устранить системную ошибку, когда реакция организма человека на факторы среды не приводит к изменению нормативной базы. В этом и заключается необходимость моделирования отрицательного влияния воздуха на организм человека, используя метод выращивания кристаллов в гелях.

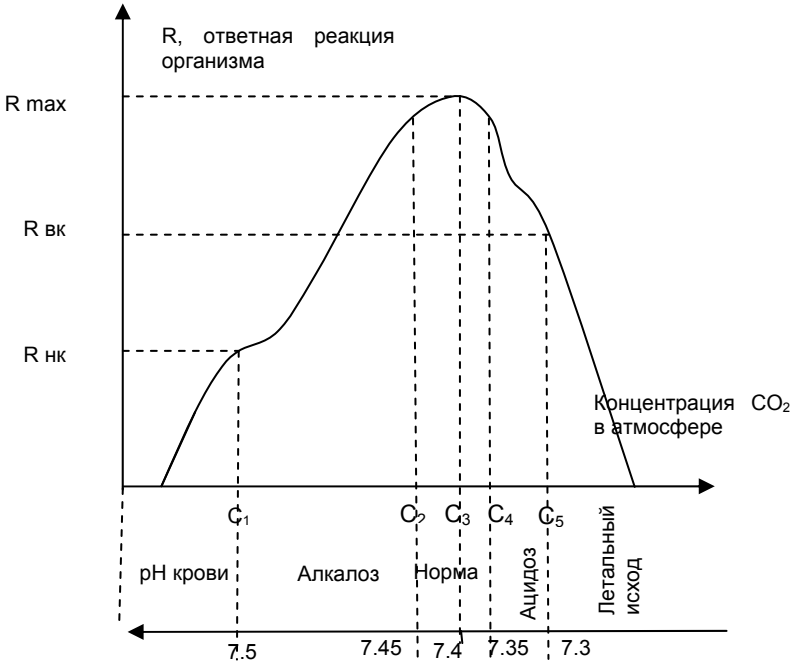


Рисунок 8. Зависимость реакции организма от дозы углекислого газа в атмосферном воздухе

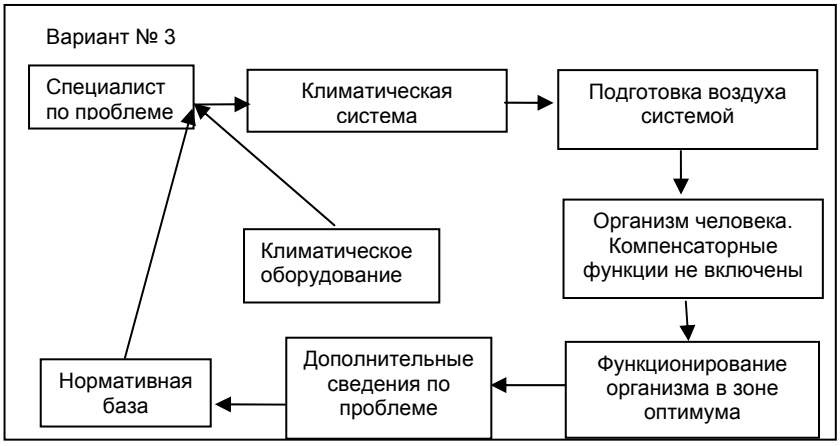


Рисунок 9. Схема деятельности специалиста по проблеме обеспечения качества воздуха в помещении при создании климатических систем

Литература

1. Гошка Л.Л. Климатические системы: влияние воздуха на организм человека // Инженерно-строительный журнал, №1/2009.
2. Робертсон Д.С. О том, как влияет растущий уровень CO_2 в атмосфере на организм человека // С.О.К., №4/2008.
3. Почки и гомеостаз в норме и при патологии / Под ред. С. Клара. М.,1987.
4. Фундаментальная и клиническая физиология: Учебник для студ. Вузов / Под ред. А.Г. Камкина и А.А. Каменского. М., 2004.
5. Аллард Ф. Приоритетные направления для повышения энергоэффективности зданий в Европе // Энергосбережение, №5/2008.
6. Шилькрот Е.О., Губернский Ю.Д. Сколько воздуха нужно человеку для комфорта?// АВОК №4/2008.
7. Венедиктов Д.Д. Здравоохранение России: кризис и пути преодоления. М., 1999.
8. Табунщиков Ю.А. Качество воздуха помещений: дефицит знаний и вакуум мотиваций // АВОК №6/2004.

Леонид Леонидович Гошка, ООО «Кола», г. Сыктывкар

Раб. тел. (8212) 29-10-24, факс: (8212) 24-44-10; эл. почта: tookola@mail.ru

Анализ причин неблагополучного состояния подвалов в Санкт-Петербурге

Профессор ГОУ СПбГПУ С.А. Старцев*

Ещё в конце сороковых – начале пятидесятых годов прошлого века подвалы зданий Ленинграда были, как правило, сухими. Большинство из них использовалось для хранения дров или в качестве кладовок. Значительная часть подвалов были жилыми. Нельзя сказать, что состояние абсолютно всех подвалов было благополучным, но большинство из них было пригодно к эксплуатации в том или ином виде. В настоящее время значительная часть подвалов в исторической части города непригодна даже к технической эксплуатации, поскольку попросту залита водой. Настоящая статья посвящена, прежде всего, анализу причин и обсуждению ущерба, вызванного неблагополучным состоянием подвалов. В конце статьи даются рекомендации по нормализации температурно-влажностного режима в подвалах, обсуждаются пути приведения всех подвалов города в надлежащее состояние.

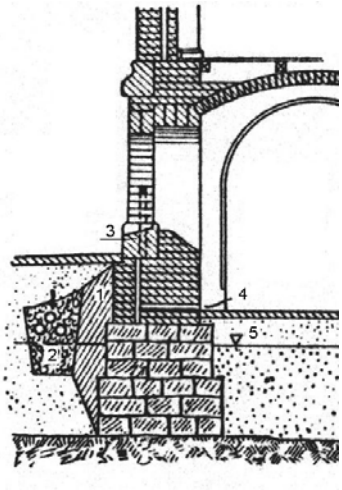
Обустройство подвалов в исторической части Санкт-Петербурга

Все наставления по строительному делу, издаваемые в России с 1820-х годов [1,2], рассматривали обеспечение нормального режима эксплуатации подвалов в качестве комплекса мероприятий, состоящего из:

- обустройства водозащитной (влагозащитной) преграды;
- обустройства дренажа;
- обеспечения вентиляции стен;
- обеспечения воздухообмена в подвале.

Здесь важно подчеркнуть, что нормальная эксплуатация подвалов обеспечивается не только гидроизоляцией (водозащитной преградой), а также уровнем воздухообмена, необходимого для предотвращения образования конденсата. Для обеспечения долговечности здания необходимо защищать его стены, прежде всего ограждающие конструкции, от воздействия агрессивных сред и от влаги. Именно по этой причине большинство фундаментов старых зданий сложено из известнякового камня. Этот камень достаточно устойчив к агрессивным воздействиям природной среды. Если нет подпорных вод и не нарушена целостность фундамента, бутовая кладка из этого камня является надёжной преградой для грунтовой влаги. Вентиляционные каналы и дымоходы внутри стен подвалов (рис. 1), которые часто встречаются при обследовании старых зданий, существенно снижают влажность кирпичной кладки и, соответственно, препятствует ухудшению её физико-механических параметров. На рис. 2 представлена схема влагозащиты подвала (проект XIX в.) в случае, если уровень грунтовых вод (УГВ) ниже уровня пола подвала. Обычно уровень черного пола подвала обустраивали на 40-50 см выше УГВ. В тех случаях, когда возникала необходимость заглубления пола подвала ниже УГВ, выполнялся глиняный замок (рис. 3). Данный тип гидроизоляции подвалов зданий весьма дорог и сложен в технологическом отношении. В Санкт-Петербурге глиняные замки встречаются довольно редко, ими обустроены не более 2% зданий.

Рисунок 1. Вентканал в стене дома постройки XIX века



1. Глиняная завеса
2. Дренаж.
3. Вентилируемые каналы в стене.
4. Вентиляция пола УГВ.

Рисунок 2. Пример обеспечения нормального температурно-влажностного режима в подвале (середина XIX века)

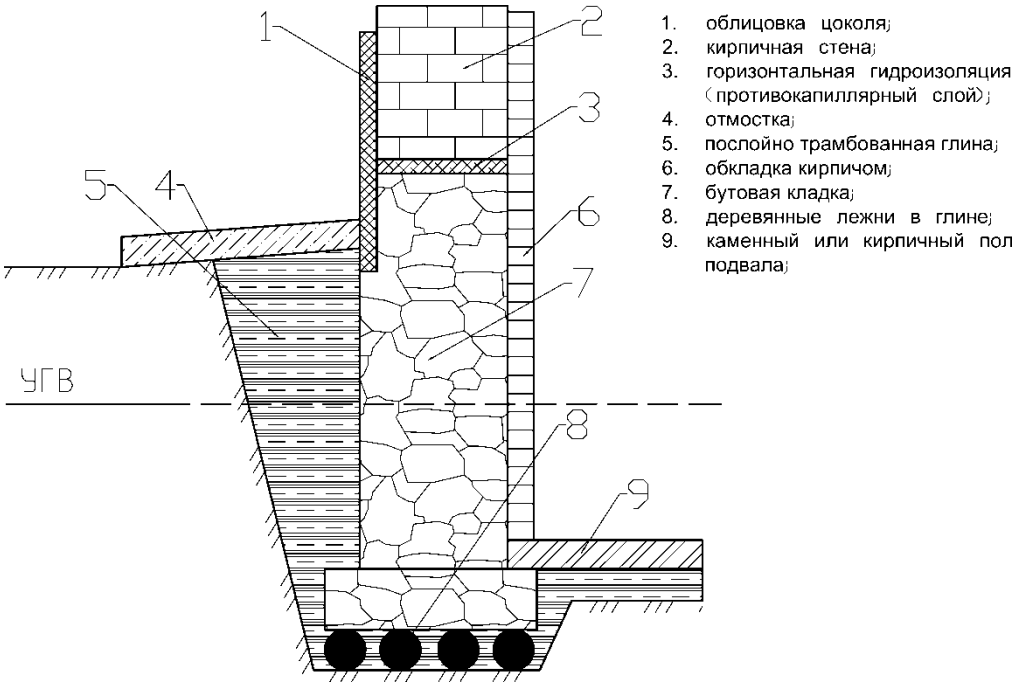


Рисунок 3. Устройство глиняного замка

Наиболее распространённая конструкция подвала в Санкт-Петербурге до 1917 года представлена на рис. 4. Дождевая и талая вода отводились дренажной системой, исключая временный подпор на бутовую кладку стен. Однако в некоторых случаях (особенности грунта) дополнительно выполнялась глиняная завеса (рис. 1). В зданиях, где существовала опасность затопления подвала во время наводнений, выполнялся совмещённый дренаж (рис. 5). В этом случае выполнялся дренаж пола подвала, который был соединён с пристенным дренажом. Кроме того, дренажная система была связана с вентиляционными каналами в стене. Во время наводнений вода поступала в подвал, но затем по дренажу уходила, а вентиляционная система способствовала быстрому просыханию стен и пола подвала.

Приведённый краткий исторический экскурс свидетельствует о том, что наши предшественники очень серьёзно относились к обеспечению нормального температурно-влажностного режима подвалов. К сожалению, навыки содержания и понимание важности обеспечения нормальной эксплуатации подвалов в настоящее время утрачены. Об этом свидетельствует большое число сырых и захламлённых подвалов.

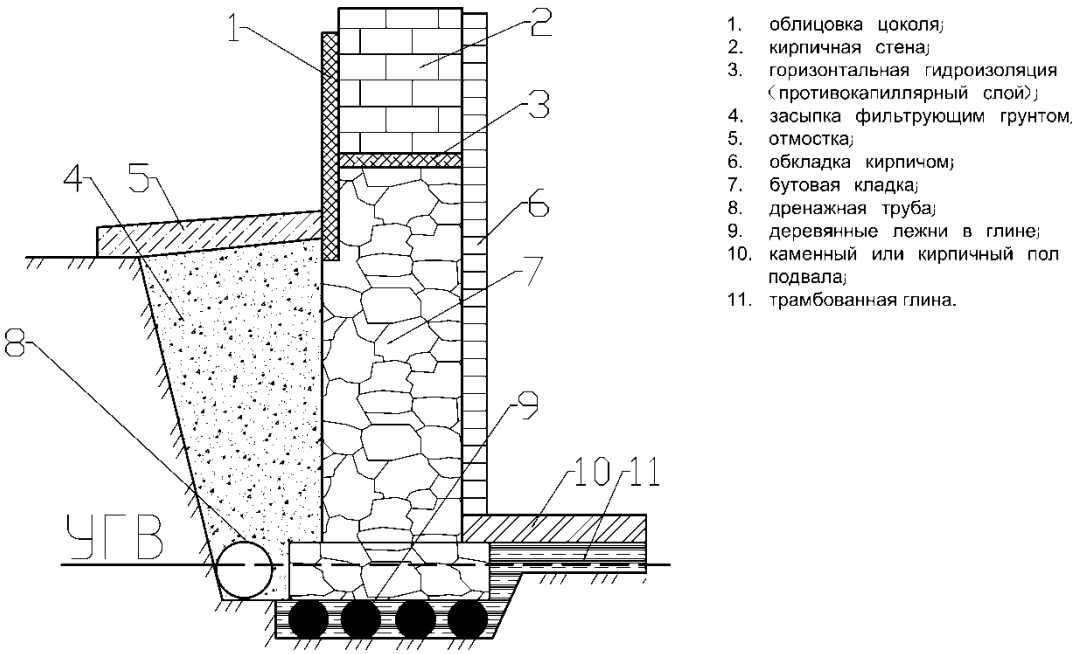


Рисунок 4. Наиболее распространённая в Санкт-Петербурге конструкция заглублённой части подвала

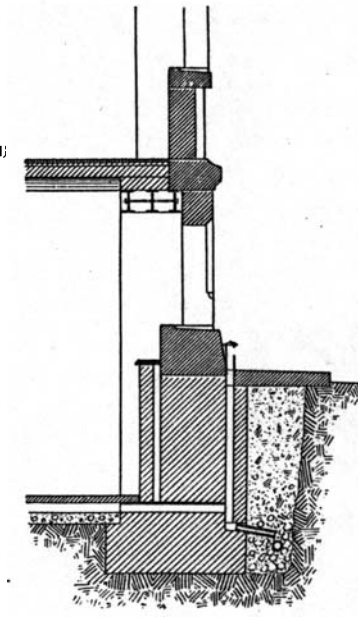


Рисунок 5. Схема совмещения дренажа

и вентиляции

Ущерб от сырых и затопленных подвалов

Залитые водой или просто сырые подвалы оказывают негативное воздействие на эксплуатационные характеристики зданий в целом. Из-за этого может происходить:

- химическое, физическое и биологическое повреждение (разрушение) всех строительных конструкций, в том числе несущих перекрытий и лестничных маршей первых этажей;
- подмыв фундаментов;
- изменение физико-механических характеристик оснований под фундаментами, что может стать причиной неравномерных осадок здания;
- нарушение санитарного состояния подвалов – развитие плесневых (патогенных) грибов, бактерий и насекомых;
- повреждение фасадов, биоповреждение внутренних поверхностей стен помещений 1-го и 2-го этажей (капиллярный эффект);
- дополнительные потери на отопление здания;
- снижение эксплуатационных характеристик подвальных помещений.

Рисунок 6. Высолы на стенах подвала

Рисунок 7. Высолы на фасаде

Рисунок 8. Биоповреждение несущих балок и кирпичных сводиков перекрытий над подвалом

Рисунок 9. Биокоррозия несущей двутавровой балки

Высолы на внутренних и внешних поверхностях стен (рис. 6, 7) свидетельствуют о том, что кирпичная кладка (и кирпич, и раствор) подвержены химической коррозии [3]. В результате химической коррозии кирпичи растрескиваются, выкрашиваются. При длительном воздействии воды с растворёнными в ней солями кирпичи могут переходить в глиноподобное вязкое состояние, т.е. полностью терять свои прочностные характеристики. Под воздействием биодеструкторов разрушаются не только стены сырых подвалов, но и перекрытия (рис. 8, 9). Разрушаются стальные несущие балки, бетон и кирпичные сводики. Это грозит обрушением перекрытий подвалов. Сейчас известны только отдельные случаи обрушения перекрытий над подвалами. Однако последние обследования подвалов в центральных частях города свидетельствуют о том, что эти случаи скоро станут обыденностью. Из-за сырых подвалов обрушаются и лестничные марши первых этажей (рис. 10).

Особую опасность для зданий представляет, длительная откачка воды из подвала. Это может привести к подмыву фундамента и, в конечном итоге, обрушению здания. Необходимо принять городской закон, запрещающий самостоятельную, несанкционированную откачку воды из подвалов.

Рисунок 10. Ропшинская ул., д.12. Бетонный трап обрушился под человеком. Основной биодеструктор – актиномицеты

Сырые подвалы играют роль биогенераторов патогенной микрофлоры. Исследования НИИ Медицинской микологии им. П.Н. Кашкина СПбМАПО показали, что до 43% детей Санкт-Петербурга, страдающих микогенными респираторными аллергозами, проживают на первых этажах зданий в помещениях с повышенной влажностью [4]. Повышенная обсеменённость воздуха спорами грибов и другими микробами представляет опасность не только для детей, но и для пожилых людей и людей с пониженным иммунитетом (послеоперационные больные, после длительного приёма антибиотиков и т.п.). Аспергиллёз лёгких, мукороз слизистых оболочек, поражение кожного покрова могут привести к тяжёлым последствиям, вплоть до летального исхода.

Сырые подвалы и подполья являются одной из причин увлажнения стен зданий, в том числе ограждающих конструкций (рис. 11). Это сопровождается разрушением фасадного покрытия и повреждением стен помещений 1-го и 2-го этажей.

Совершенно очевидно, что влажные стены имеют пониженный коэффициент теплосопротивления. Это увеличивает затраты на отопление здания, а следовательно, увеличивает затраты на его содержание. Эти потери могут достигать значения до 15% для малоэтажных зданий. Кроме того, увлажнение стен увеличивается за счёт конденсационных процессов, поскольку влажные стены имеют пониженную температуру.

Многие залитые и сырые подвалы, если бы они были сухими, можно было бы использовать под различные нужды (магазины, кафе, и т.п.). Недополучение арендной платы за эти помещения можно отнести на счёт экономических потерь для бюджета города.

Рисунок 11. Караванная ул., д.1. Капиллярный подсос воды из сырого подполья

Основные причины нарушения температурно-влажностного режима подвалов

Все ссылки на то, что Пётр Великий построил город на болоте и поэтому грунтовые воды заливают подвалы, несостоятельны. За 300 лет существования Санкт-Петербурга глубина залегания водоупорных слоёв грунта по абсолютному значению не изменилась, количество осадков, уровень Невы, также не претерпели существенного изменения. Таким образом, причин для изменения уровня грунтовых вод практически нет. Тем не менее, залитые водой подвалы в значительной степени свидетельствуют об изменении уровня подземных вод (УПВ). Здесь мы делаем различие между УГВ, который определяется геологическими и климатическими особенностями района, и УПВ, который мы наблюдаем по факту. УПВ связан с застройкой территории города, прокладкой подземных коммуникаций, строительством подземных сооружений, изменением коэффициента фильтрации воды из-за загрязнения грунта.

Если взглянуть на карту мира, то можно убедиться, что сотни городов построены в дельтах рек, которые в большинстве представляют собой болота. Стратегическое расположение городов в дельтах рек было настолько важно нашим предкам, что они были вынуждены строить города в столь сложных условиях. К моменту начала строительства Санкт-Петербурга в Европе и в России уже был накоплен большой опыт строительства зданий в подобных условиях. Более того, относительно небольшая глубина (1,5-2,0 м) уровня грунтовых вод позволяла для усиления основания под фундаментом здания использовать деревянные сваи. Для обеспечения распределения нагрузок на основания при строительстве зданий под фундамент укладывали деревянные лежни (плоты). И сваи, и лежни располагались ниже минимальной абсолютной отметки УГВ. Это гарантировало защиту древесины от гниения. Заметим, что деревянные сваи, заложенные

под причальную стенку лондонского порта древними римлянами, выполняют свою функцию до сих пор, а грандиозное здание Исаакиевского собора стоит на 12000 деревянных свай. В городах со схожей геологией строго следят не только за повышением подземных вод, но и за их понижением. Последнее представляет едва ли не большую опасность для старых зданий, чем первое.

Проведённые обследования большого числа проблемных подвалов позволяет сформулировать основные причины нарушения температурно-влажностного режима подвалов:

1) утечки из внутренних сантехнических сетей и системы центрального отопления;
2) утечки из сантехнических наружных сетей и системы центрального отопления;
3) прокладка траншей инженерных сетей без обустройства организованного водоотведения;
4) пробивка фундаментов в области ввода инженерных сетей;
5) корни деревьев;
6) повышение УГВ из-за изменения гидрологии подземного пространства;
7) образование трещин в фундаментах при неравномерных осадках здания;
8) нарушение/отсутствие вентиляции стен подвалов;
9) недостаточный воздухообмен в подвале;
10) повышение культурного слоя;
11) контакт цементной (бетонной) стяжки с кирпичной/каменной кладкой на известковом растворе.

Утечки из внутренних и наружных сантехнических сетей и системы центрального отопления являются едва ли не самой распространённой причиной затопления подвалов. Даже если подвал обустроен гидроизоляцией изнутри и вводы инженерных сетей выполнены надлежащим образом, это ещё не является гарантией от потопления. Изношенные сверхнормативно трубы, муфты, тройники, краны и т.п. дают течи, которые обнаруживаются, когда подвал уже затоплен. Утечки из сантехнических сетей и систем отопления необходимо устранять сразу же после их обнаружения. При этом совершенно недопустима практика сливания воды из стояков непосредственно на пол подвалов, которая часто практикуется ремонтными бригадами.

Гидроизоляция изнутри подвала обычно заводится на стену примерно на 10-15 см выше установившегося УПВ. Однако если происходит утечка воды из наружных сетей, которые характеризуются значительно большим расходом воды, то УПВ может превысить край гидроизоляционного слоя, и подвал будет затоплен. С этим нам не раз приходилось сталкиваться в процессе обследования подвалов. В частности, при выяснении причин подтопления подвала здания на углу Суворовского пр. и 8-й Советской ул. (обследование проводили специалисты ЗАО «Промбурвод») оказалось, что не только данный подвал, но и большинство соседних затоплены водой, которая вытекала из магистрали холодного водоснабжения в 500 (!) метрах от обследуемого подвала. Водой были залиты все подземные коммуникации вокруг (рис. 12). На Караванной улице авария в магистрали центрального отопления привела к затоплению телефонного коллектора (рис. 13) и соседних подвалов. Бригада телефонистов, устранявшая последствия этого затопления сетовала на то, что с подобными явлениями они сталкиваются по нескольку раз в год.

Рисунок 12. Люк пожарного водоснабжения залит водой из-за утечки в сети холодного водоснабжения

Рисунок 13. Телефонный коллектор залит горячей водой из системы центрального отопления

Если утечки из изношенных сетей водоснабжения носят аварийный характер, то подтопление подвалов водой из траншей всех видов подземных коммуникаций будет постоянным. Действительно, при укладке подземных коммуникаций плотность грунта обратной засыпки в траншее существенно ниже плотности берегов (рис. 14). Эти траншеи становятся дренажными канавками, с той лишь разницей, что уклон этих канавок

Рисунок 14. Обратная засыпка траншеи произведена песком

Рисунок 15. Пробивка фундамента при прокладке коммуникаций

озёра образуются в культурном слое, т.е. выше обреза фундамента. Это приводит к намоканию кирпичных стен и к поступлению воды в подвал. Естественно, если место ввода коммуникации в стенку подвала некачественно зачеканено, то вода поступает в подвал и через эти узлы (рис. 15). Аналогичная ситуация складывается, если стена фундамента пробита корнями деревьев (рис. 16). Особую опасность в этом плане представляют тополя, имеющие мощную горизонтальную корневую систему.

Рисунок 16. Фундамент пробит корнями тополя

Наши предшественники строили здания исходя из тех гидрогеологических условий, которые сложились на момент строительства. Прокладка подземных коммуникаций, строительство подземных сооружений и строительство зданий с глубокими подвалами может привести к изменению УГВ, как в сторону повышения, так и в сторону понижения. Повышение УГВ происходит тогда, когда подземное сооружение служит препятствием на пути движения подземных вод.

Часто это явление встречается при строительстве заглублённых сооружений в непосредственной близости от водоёма, куда идёт сброс подземных вод. Поэтому при проектировании подземных и заглублённых сооружений необходимо проводить тщательное гидрогеологическое обследование территории. Классическим примером может служить строительство подземного торгового центра на Манежной площади в Москве. Это сооружение изменило русло подземной реки, что привело к подвижкам храма Василия Блаженного и нескольких зданий в Кремле.

Изменение УГВ может происходить и из-за изменения коэффициента фильтрации грунтов. Эти изменения, как правило, связаны с загрязнениями грунтов бытовыми и производственными отходами. Особую опасность представляют органические загрязнители, которые в грунте становятся питательной средой для подземной микрофлоры. Продукты жизнедеятельности этих организмов изменяют не только коэффициент фильтрации воды в грунтах, но и коэффициент трения, что приводит к локальному образованию плывунов [5], в том числе, и под фундаментами зданий.

Изменение (ухудшение) физико-механических параметров грунтов в основании зданий приводит к его неравномерным осадкам. В фундаменте и несущих стенах образуются трещины, что приводит к разбивке целостной конструкции здания на отдельные блоки. Повсеместная реконструкция зданий, сопровождающаяся углублением подвалов под гаражи и автостоянки или иные нужды, без учёта последствий перераспределения нагрузок на грунты также приводит к неравномерным осадкам здания. Строительство подземного гаража под «Невским Паласом» повлекло за собой расселение жителей двух соседних зданий. Это, конечно, крайний случай, но таких примеров в Санкт-Петербурге более чем достаточно. Образование трещин в фундаменте неизбежно приводит к его подтоплению.

Как уже отмечалось выше, строители XVIII-XIX веков понимали, что состояние подвалов определяется не только уровнем влагозащиты, но и уровнем вентиляции. Стены подвалов постоянно находятся в контакте с грунтом, и естественно, что их поверхность имеет пониженную температуру. Это способствует образованию конденсата, как на поверхности, так и внутри стен. Поэтому, очень важно в подвальных помещениях

обеспечить воздухообмен, исключающий образование конденсата на стенах. При обследовании подвалов старых зданий часто встречаются остатки печей и дымоходов. Эти подвалы протапливались для предотвращения отсыревания стен. Влага, накапливающаяся внутри стен отводилась через специальные воздушные каналы (см. рис. 17).

За 300 лет существования Санкт-Петербурга культурный слой вырос в среднем на 50-80 см. В отдельных местах — на 1-1,5м и более. Контакт грунта с цокольной частью стены, а порой и выше цоколя, приводит к увлажнению стен за счёт капиллярного эффекта. Это приводит к повреждению фасада: высолы, участки биоповреждения, отшелушиваниz краски, обрушения штукатурки и т.д. Капиллярный подсос воды может повредить стену вплоть до второго этажа (рис. 18). Прокладка коммуникаций в культурном слое приводит к тому, что вода из коммуникационных траншей создаёт подпор воды у незащищённой гидроизоляцией кирпичной кладки. Весной 1997 г в подвал дома №4 по улице Ульяны Громовой вода поступала по всей длине фасада. Она «хлестала водопадом» сквозь шов между кирпичами.

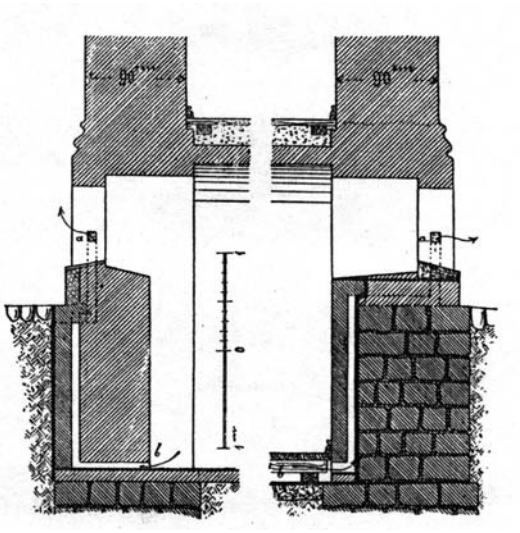


Рисунок 17. Примеры вентиляции стен и полов подвалов в зданиях XIX века

Причиной тому явилась укладка телефонного кабеля в культурном слое осенью 1996 года. Таким образом, повышение культурного слоя следует рассматривать не только как проблему фасадов, но и как проблему подвалов.

Рисунок 18. Разрушение фасада из-за капиллярного эффекта, который обусловлен повышением культурного слоя

Рисунок 20. Увлажнение в зоне прямого контакта бетонной плиты и кладки на известковом растворе

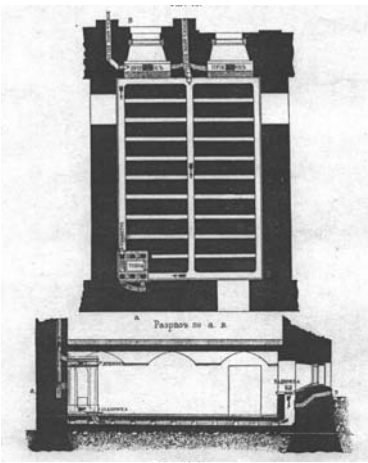


Рисунок 19. Схема просушки подвалов дворца Великого Князя Михаила Николаевича. Подвал разделен на блоки, в каждом блоке — калорифер

Устройство пола подвала играло важную роль в обеспечении условий его эксплуатации. Там, где подвал использовался как дровяник или под иные складские нужды полы представляли собой известково-песчаную стяжку поверх слоя трамбованной глины. В тех случаях, когда подвал использовался под жилые, магазины или иные вспомогательные нужды, поверх слоя трамбованной глины укладывалась кирпичная выстилка. Это делалось для утепления пола подвала. В особых случаях, во дворцах и дорогих особняках полы подвалов обогревались тёплым воздухом (рис. 19). В настоящее время при реконструкции старых зданий часто полы заливают бетоном. После этого в зоне контакта бетона и кладки на известковом растворе наблюдается увлажнение стены. На (рис. 20) видно, что там, где есть непосредственный контакт бетонной плиты и стены отчётливо видна зона увлажнения. Там, где полиэтиленовая плёнка исключает их, нет и увлажнения. Это явление связано с разностью электрохимического потенциала цементного и известкового камня. Для исключения этого явления необходимо между бетонной плитой и стенкой проложить диэлектрическую прокладку.

Рекомендации по нормализации температурно-влажностного режима подвалов в зданиях исторической застройки

Столь подробный анализ причин нарушения температурно-влажностного режима подвалов был проведён не просто так. Осмотр более чем сорока проблемных подвалов в исторических частях Санкт-Петербурга, выполненный специалистами ЗАО «Промбурвод» по заданию Жилищного комитета Правительства Санкт-Петербурга, показал, что в этих подвалах были предприняты попытки по нормализации обстановки только одним способом – выполнение гидроизоляции изнутри.

Несмотря на то, что в качестве гидроизоляции использовались различные материалы (рулонные обмазочные, проникающие), конструктивно этот вид гидроизоляции представлял собой: выравнивающую стяжку, поверх которой наносился гидроизоляционный слой, и бетонный (железобетонный) пригруз (рис. 21). Фактически выполнялся бетонный кессон. Судя по тому, что в некоторых подвалах под напором воды эта конструкция была сломана, можно сделать вывод, что расчет кессона не проводился. Не было учтено, что давление на дно кессона снизу неравномерно. А в отдельных случаях гидроизоляционный слой вообще не имел пригруза (рис. 22).

Рисунок 22. Гидроизоляция изнутри выполнена рулонным материалом без пригруза

Гидроизоляция подвалов, выполненная изнутри, имеет ряд существенных недостатков.

- Гидроизоляция работает на отрыв. Для предотвращения отрыва гидроизоляционного слоя нужно выполнить кессон. Толщина кессона существенно уменьшает высоту подвала.
- Гидроизоляция изнутри может сделать подвал сухим, но стены подвала останутся сырыми и будут продолжать разрушаться. За счёт капиллярного эффекта вода может подниматься до второго этажа и выше.
- Если гидроизоляция заведена на стену высоко (в уровень дневной отметки), это неизбежно приводит к увеличению глубины промерзания ограждающей конструкции.
- При недостаточной вентиляции подвала, даже если в него не поступает вода, на его стенах и на полу может образовываться конденсат.

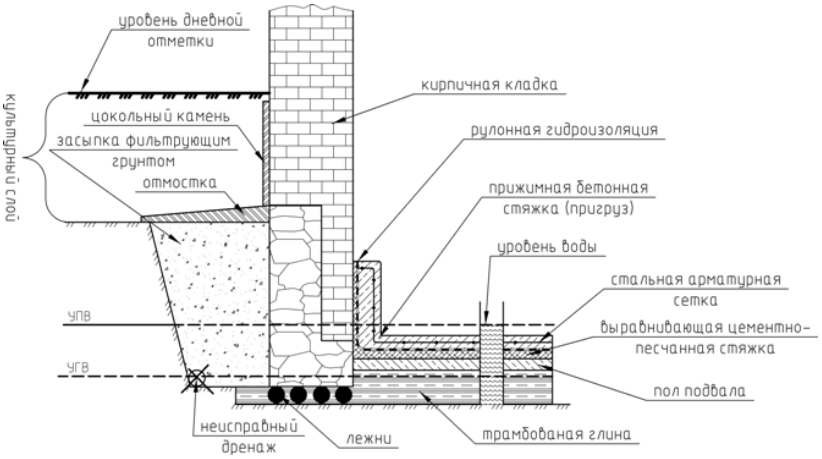


Рисунок 21. Наиболее распространённая в Санкт-Петербурге современная схема гидроизоляции подвалов

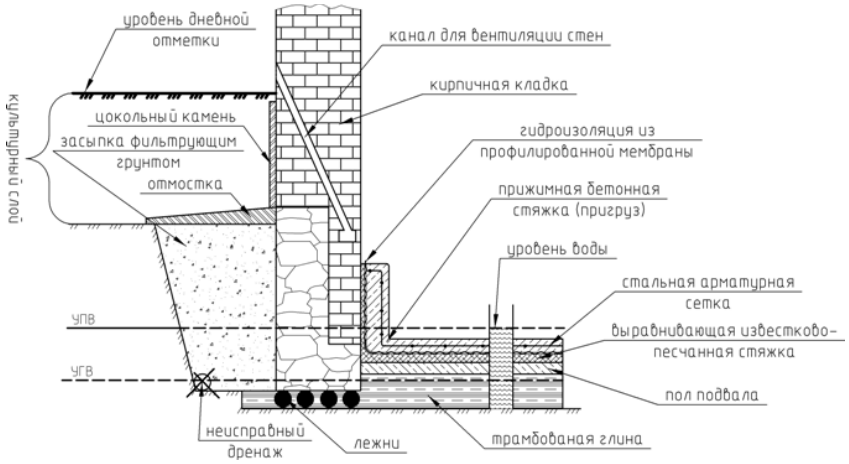


Рисунок 23. При обустройстве гидроизоляции изнутри необходимо использовать в качестве гидроизоляции профилированную мембрану и обустроить вентканал в стене

Нужно подчеркнуть, что обустройство гидроизоляции изнутри, особенно в сочетании с приточно-вытяжной вентиляцией и отоплением, может сделать подвал пригодным для эксплуатации, в том числе и в коммерческих целях, но это только создаст видимость благополучного состояния здания. Поскольку стены останутся сырыми, процессы деструкции кирпичей и камней будут продолжаться.

В ряде случаев может оказаться, что гидроизоляция изнутри является единственным возможным способом защиты подвала от влаги. В этом случае для того, чтобы стены подвала сохранили возможность «дышать», а следовательно, просыхать, в качестве гидроизоляции можно применить профилированную мембрану (рис. 23). Состояние, а соответственно, и срок службы стен подвала существенно увеличится, если обустроить вентиляцию стен. Для этого в кирпичной части стены под углом бурятся отверстия Ø 100-120 мм в простенках между окон. По внутренней поверхности стены прорезается борозда в уровне отверстий на глубину до 25 см. Затем закладывается борозда в полкирпича, образуя, таким образом, горизонтальный вентканал. Работы необходимо проводить захватками от первого отверстия до соседнего. Для предотвращения образования конденсата на стенах и полах подвалов необходимо обеспечить воздухообмен в подвальных помещениях таким образом, чтобы не было непроветриваемых зон. Если не представляется возможным восстановить старые вентканалы, можно установить вентиляционные отверстия в окнах подвала или пробурить в стенах сквозные отверстия на улицу. Естественно, все эти отверстия должны иметь решётки типа жалюзи, предотвращающие проникновение в подвалы грызунов и иных животных.

Проблему сырых стен зданий, обусловленную культурным слоем, можно решать по-разному. В настоящее время наибольшее распространение в области обустройства противокапиллярной отсечки получил метод инъекции гидрофобных жидкостей в кирпичную кладку. Суть этого метода представлена на рис. 24. Значительная часть гидрофобных жидкостей содержит органические компоненты, которые способны спровоцировать глубокое биоповреждение кирпичной кладки. С таким явлением приходилось неоднократно сталкиваться, в том числе в зданиях, являющихся памятниками архитектуры.

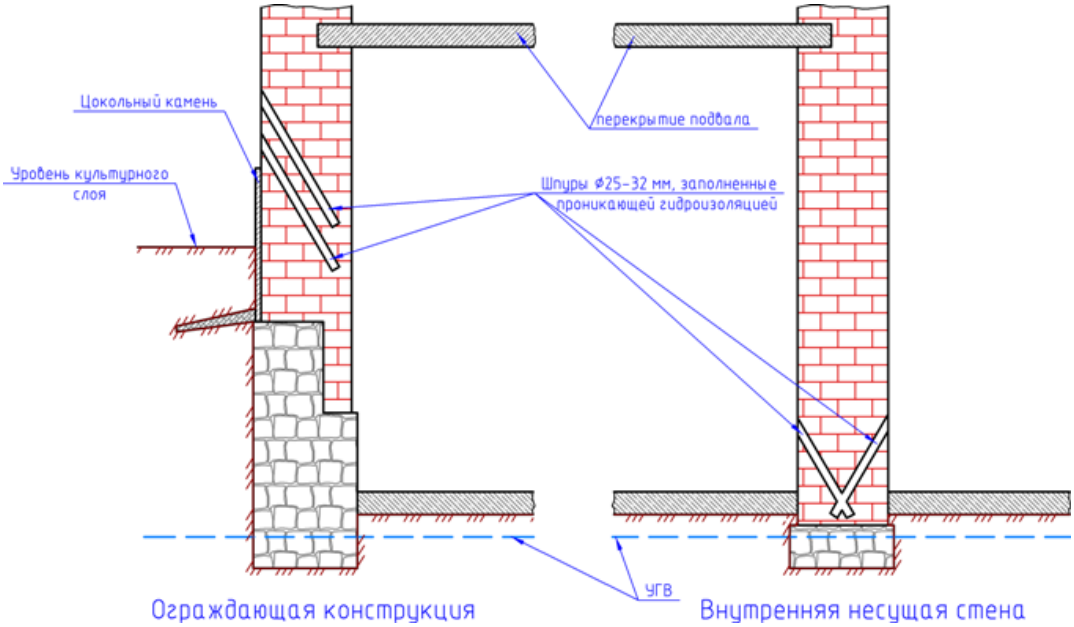


Рисунок 24. Технология устройства горизонтальной противокапиллярной отсечки на базе проникающей гидроизоляции

После инъецирования гидрофобной жидкости в кирпичную кладку, просверленные шпуры тампонируют раствором, как правило, цементным. Твёрдость тампонирующего раствора может быть существенно выше кирпича, который долгое время подвергался воздействию воды, солей, биодеструкторов. Каждая микроподвижка здания, будь то сейсмика, колебания из-за проходящего транспорта, сезонные подвижки фундаментов и т.п., приводит к тому, что твёрдые цементные стержни разбивают ослабленную кирпичную кладку. Результат этого может сказаться через 25-30 лет, как это было с кафедральным собором в Никосии на Сицилии [6]. Кроме того, поскольку инъекции проводятся «вслепую», гарантии 100% отсечки никто дать не может.

Хорошей альтернативой описанному выше методу может служить метод забивки в шов между кирпичами гофрированных листов из нержавеющей стали по технологии «System Baumann» (рис. 25-28). Метод был апробирован в Санкт-Петербурге в 1996 году по заданию Комитета управления городским хозяйством Мэрии Санкт-Петербурга [7]. Таким образом, обеспечивается физическая стопроцентная отсечка капиллярной влаги. Этот метод дает 100% гарантию восстановления горизонтальной гидроизоляции. В Центральной Европе по этой технологии восстановлена горизонтальная гидроизоляция в нескольких десятках тысяч домов. Следует отметить, что кирпичи ниже отсечки остаются влажными, если их не защитить вертикальной гидроизоляцией, предварительно просушив их.

Рисунки 25-28. Противокапиллярная отсечка по технологии «System Baumann»

По оценкам отдела ценообразования Комитета по содержанию жилищного фонда (1997 г.), стоимость этого метода несколько дороже метода инъекции, но даёт 100% отсечку капиллярный влаги, и, по данным специалистов фирмы «Baumann» (Германия), такая гидроизоляция имеет срок службы не менее 400 лет, т.е. вполне удовлетворяет требованию «раз и навсегда».

Но необходимость в обустройстве противокапиллярной отсечки может отпасть, если поставить эффективную преграду между культурным слоем и стеной. Для того чтобы стены имели допустимый уровень влажности (менее 2% по массе), необходимо не только защитить их от прямого воздействия грунтовой влаги, но и обеспечить возможность вентиляции поверхности стен. Вертикальная защита стен с помощью профилированной полиэтиленовой мембраны (например, «System Platon», Норвегия, рис. 29) или с помощью гофрированных листов из нержавеющей стали («System Baumann», рис. 30) частично решает эту задачу, но в ряде случаях эти технологии неприменимы или просто дороги. В 80-90% случаев наиболее целесообразным решением отсечки культурного слоя является обустройство пристенного лотка (рис. 31-33). Это решение позволяет не только надежно отсечь культурный слой от стены, но и практически полностью восстановить вентиляцию поверхностности цокольной части.

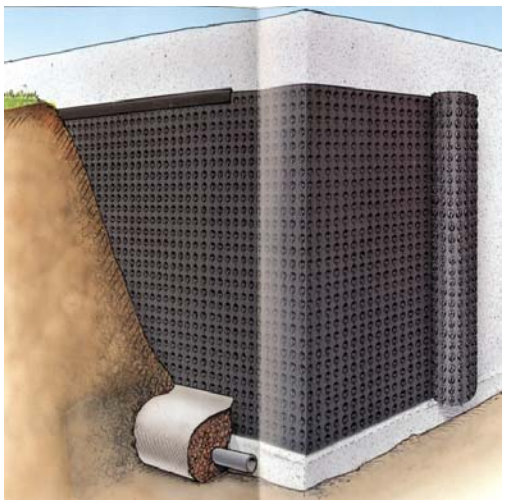


Рисунок 29. Вертикальная влагозащита фундамента с помощью профилированной мембраны по технологии «System Platon»

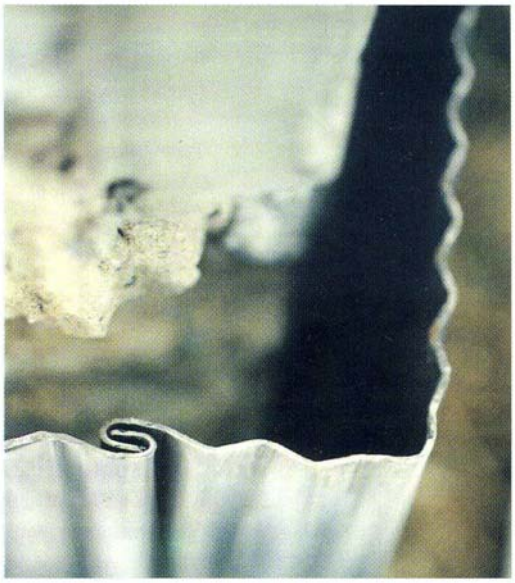
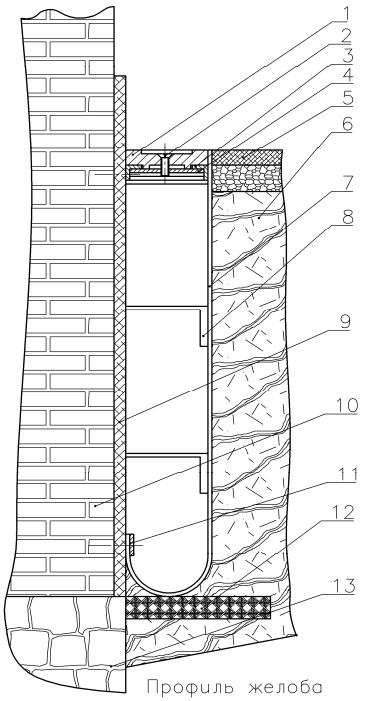


Рисунок 30. Вертикальная влагозащита фундамента с помощью гофрированных листов из нержавеющей стали по технологии «System Baumann»



1 – чугунная решетка;
2 – крепежный винт;
3 – уголок из нержавеющей стали;
4 – крепежная планка (кадмированная сталь);
5 – отмостка;
6 – грунт;
7 – желоб (сталь оцинкованная с полимерным покрытием);
8 – упоры из уголка (нерж.ст.), устанавливаются при глубине лотка более 40 см;
9 – цокольный камень;
10 – стена;
11 – прижимная полоса (нерж.ст.);
12 – пенополистирол;
13 – фундамент.

Рисунок 31. Конструкция пристенного лотка

Рисунки 32-33. Обустройство пристенного лотка

Если при проведении ремонта подвальных помещений, предназначенных для коммерческого использования, приняты все меры по нормализации температурно-влажностного режима, стены необходимо оштукатурить. При этом в старых зданиях целесообразно применять известковые штукатурки и соответствующие краски. За счёт способности известкового раствора «дышать» в помещениях будет комфортная атмосфера, а за счёт высокой щёлочности раствора на стенах даже в случае временного увлажнения не будут развиваться плесневые грибы и другие микроорганизмы. Опыт ремонта подвалов в церквях подтверждает вышесказанное. В тех случаях, когда проектом ремонта подвала предусмотрено применение гипрока, необходимо использовать только влагостойкий гипрок. То же требование относится и к шпаклёвочным растворам и краскам. Для того чтобы обеспечить вентиляцию кирпичной кладки, в листах гипрока должны быть установлены вентиляционные решётки (рис. 34). Перед монтажом гипрока стены необходимо обработать биоцидным составом или известковым молочком.

Рисунок 34. Стены подвала зашиты гипроком, но каждый лист имеет вентиляционную решётку

Основные выводы и предложения

Как отмечалось выше, основными причинами подтопления подвалов в исторической части города являются утечки из внутренних и внешних сетей водоснабжения и отопления, дренирование дождевых и талых вод по траншеям различных коммуникаций. Если проблему утечек из внутренних сетей можно решить в рамках отдельных подвалов, то остальные перечисленные проблемы в рамках одного дома не решить. Для решения вопросов, связанных с обустройством организованного водоотведения из траншей различных коммуникаций, потребуется координация работы большого числа ведомств и организаций, владеющих инженерными подземными сетями. Кроме того, необходимый контроль за УПВ можно будет осуществить только с помощью общегородской мониторинговой сети наблюдения.

Сказанное выше возможно осуществить только при условии разработки и принятия Правительством Санкт-Петербурга соответствующей Городской целевой программы. В рамках этой программы можно будет разработать комплекс методик, направленных на восстановление нормального температурно-влажностного режима и обеспечение необходимого санитарного уровня подвалов, усиление перекрытий над подвалами, решение проблемы культурного слоя и т.д. Для разработки технико-экономического обоснования программы и реализации самой программы необходимы объективные статистические данные о состоянии подвалов города. Необходимо осмотреть и охарактеризовать состояние всех подвалов города. Эти данные могли бы позволить оптимизировать план работы как с технической, так и с экономической точек зрения. Такую колоссальную по объёму (предварительную по сути) работу можно будет осуществить с помощью привлечения студентов строительных вузов города. Приведение всех подвалов города в порядок в период экономического кризиса может показаться несвоевременным. Но необходимо осознать, что буквально через 5-7 лет падение перекрытий подвалов может принять массовый характер, а неравномерные осадки зданий будут постепенно приводить их в аварийное состояние. Кроме того, сырые подвалы и, соответственно, сырые стены цокольных и первых этажей не позволят поддерживать фасады зданий в надлежащем виде.

Литература

1. Розенкампф А.А. Практическое наставление по постройке фабричных и жилых строений и составлении для них проектов. 1859
2. Розенберг А.В. Подвал, его устройство, использование и осушка. Акад.художеств, 1925
3. Инчик В.В. Высолы и солевая коррозия кирпичных стен. СПб.,1998.
4. Антонов В.Б., Беляков Н.А., Васильева Н.В., Елинов Н.П., Старцев С.А., Хурцилава О.Г., Щербо А.П. (коллективная монография). Биоповреждение больничных зданий и их влияние на здоровье человек /. Под ред. А.П. Щербо, В.Б. Антонова. СПб., 2008.
5. Приложение «П» РВСН 20-01-2006 (ТСН 20-303-2006). СПб., 2006.
6. Marchisio M., D'Onofrio L., Forlani E., Cerri S. The use of geophysical methods to study the masonry structures of monuments: an application for the restoration of the Cathedral of Nicosia (Sicily) // Proceedings of the 6 Meeting EEGS – ES. Bochum, Sept. 3-7, 2000.
7. Старцев С.А. Восстановление горизонтальной и вертикальной гидроизоляции зданий методом забивки гофрированных листов из нержавеющей стали по технологии фирмы ««Baumann» // Сборник докладов. 1-я Международная научно-техническая конференция «Гидроизоляционные материалы – XXI век «AquaSTOP». СПб., 2001.

**Сергей Александрович Старцев, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

Тел. моб. 999-13-50; эл. почта sergey_startsev@mail.ru

Характеристики сорбционного модуля гидротехнического сооружения очистки ливневых сточных вод кладбищ

Магистр ГОУ СПбГПУ А.М. Корчевская*;
к.х.м., доцент ГОУ СПбГПУ В.Н. Чечевичкин

В настоящее время на биологическую доочистку в канализацию сбрасываются ливневые сточные воды, содержащие взвешенные вещества и ионы тяжелых металлов. Высокая концентрация подобных веществ может привести к ухудшению работы биологических фильтров, находящихся в системе канализации и, как следствие, к ухудшению экологической обстановки.

Очистка поверхностных сточных вод кладбищ является серьезной экологической проблемой с точки зрения технической реализации и рентабельности, по причине достаточно больших площадей выпадения осадков и, соответственно, больших расходов вод, направляемых на очистку.

Концентрации естественным путем образующихся загрязнений, как правило, невелики, однако общий объем стоков приводит к значительному фактическому сбросу.

Решение проблем очистки осложняется невозможностью подвода к очистным объектам электроэнергии, строительства каких-либо помещений, а также постоянной работы обслуживающего персонала. На кладбищах нет места для сооружения накопительно-усреднительных резервуаров, прудов и отстойников. На подобных объектах невозможно применение наземных очистных сооружений с принудительной подачей воды на оборудование для очистки, а также заглубленных в грунт локальных самотечных установок кесонно-септиковой конструкции.

Реальной возможностью очистки сточных вод в этих условиях обладают гидротехнические сооружения сорбционной очистки, использующие принцип удаления различных растворенных веществ из воды поглощающим материалом, в данном случае — цеолитом. Ионообменная очистка на цеолитах может быть осуществлена эффективно только в условиях ламинарного режима движения жидкости через фильтрующую среду. Гидротехнические очистные сооружения сорбционного типа могут располагаться непосредственно в створах отводящих канав и работать при минимальных гидравлических перепадах.

Разработанное ранее гидротехническое сооружение должно соответствовать следующим параметрам [1]:

- режим работы – непрерывный всесезонный;
- гидродинамический режим – движение очищаемой воды путем просачивания ее через пористый сорбционный элемент за счет разницы уровней до и после него;
- место расположения – сточная канава с возможностью расширения русла до 200 см, с общей глубиной не более 70 см;
- уклон дня канавы не более 0,0005; уровень воды в канаве в рабочем режиме – не более 40 см;
- отсутствие места для строительства наземных помещений и резервуаров;
- отсутствие подвода электроэнергии.

Работа гидротехнического сооружения, вследствие невозможности создания накопительно-усреднительной емкости, происходит с переменной производительностью: во время ливня – максимальная, в сухой период – минимальная. В связи с этим должен быть предусмотрен некоторый запас по высоте сорбционного модуля, который при ливневом увеличении потока вод позволит устройству работать без перелива.

Минимальная длина цеолитового сорбента, обеспечивающая эффективную очистку сточных вод на цеолитовых фильтрах по сорбционно-ионообменному механизму, составляет 100 см [2].

Объектом исследования является единичный сорбционный блок-модуль, заполненный зернистым цеолитом, устанавливаемый в гидротехническое сооружение в количестве, необходимом для обеспечения требуемой производительности очистки. Блок-модуль имеет размеры 50x100x50 см, замыкающая стенка — проницаемая, лобовая имеет непроницаемый барьер, дно сорбционного модуля непроницаемо и горизонтально (или имеет уклон не более 0,0005), коэффициент фильтрации k равен 2,0 см/сек [3].

Предыдущими авторами была оговорена важность наличия переливного порога и непроницаемого барьера на лобовой стенке, но не были построены кривые депрессии. Следовательно, не было очевидно влияние зависимости высоты переливного порога на выходное сечение и высоты непроницаемого барьера на увеличение зоны заиливания. В связи с этим, неправильно была найдена линейная скорость движения жидкости u, и не была найдена рабочая площадь продольного сечения S.

Одной из главных задач на данный момент является определение таких параметров сорбционного модуля, чтобы линейная скорость движения жидкости уменьшилась (в пределах ламинарного режима), а рабочая площадь увеличилась. Для этого, возможно, придется изменить параметры самого сорбционного модуля.

На выходе из блока-модуля находится переливной порог. Через блок-модуль проходит вода. Очистка будет осуществляться только при скорости движения воды, находящейся в пределах ламинарного режима движения жидкости.

От высоты переливного порога и непроницаемого барьера на лобовой стенке зависят сорбционные характеристики блока-модуля, такие как линейная скорость движения жидкости, рабочая площадь продольного сечения.

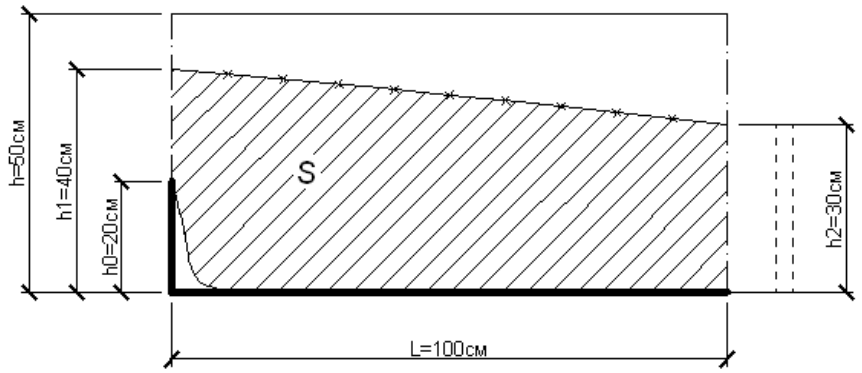


Рисунок 1. Продольное сечение сорбционного модуля

На рис. 1 изображено продольное сечение сорбционного модуля. Площадь рабочего сечения модуля S, описывается верхней и нижней кривыми депрессий. Верхняя кривая депрессии построена с помощью формулы Дюпюи [4]:

$$Q = k\frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \qquad (1),$$

где Q – объемный расход,
k – коэффициент фильтрации,
h_1 — уровень воды при рабочем режиме,
h_2 — высота переливного порога (или высота сечения),
L – длина модуля.

Вид верхней кривой депрессии зависит от высоты переливного порога h_2. От высоты переливного порога также зависит площадь сечения w, а от площади сечения зависит значение линейной скорости движения жидкости u. Линейную скорость движения жидкости можно определить с помощью уравнения Дарси [4]:

$$u = \frac{Q}{\omega} \qquad (2),$$

где Q – объемный расход,
u – линейная скорость движения жидкости,
w – площадь сечения.

Из формул (1) и (2) видно: чем выше значение высоты переливного порога h_2, тем ниже значение объемного расхода Q, тем ниже значение линейной скорости движения жидкости u. В связи с этим, более выгодным является режим работы модуля с высокими значениями h_2. Однако, при этом необходимо учитывать диапазон сезонных колебаний уровня h_1.

Изначально предполагалось наличие непроницаемой замыкающей стенки на каждом модуле, т.к. это удобнее конструктивно, но это привело бы к формированию застойной зоны, что уменьшило бы площадь рабочего сечения.

Нижняя кривая депрессии построена с помощью метода ЭГДА (электродинамической аналогии) [4]. Электродинамическая аналогия заключается в том, что ламинарное течение воды в пористой среде и постоянный электрический ток в проводящей среде подчиняются одним и тем же математическим зависимостям.

Вид нижней кривой депрессии зависит от высоты барьера на лобовой стенке h_0. Этот барьер нужен для задержки иловой массы из канавы, которая, постепенно перемещаясь вместе с водой, забивает пористое пространство модуля и ухудшает его работу.

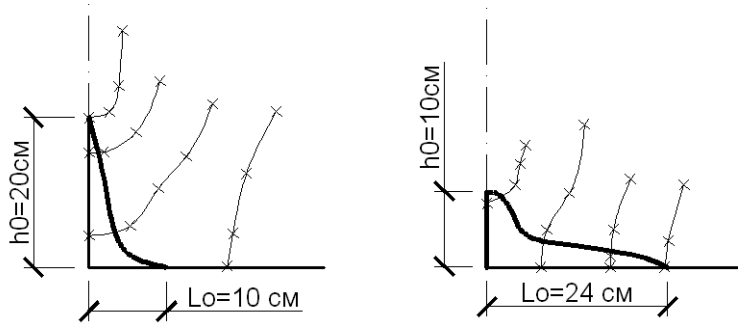


Рисунок 2. Варианты нижней кривой депрессии (кривой застойной зоны) в зависимости от высоты непроницаемого барьера

Зона заиливания Lo — неблагоприятная зона для работы модуля. Уменьшать высоту h_0 не рекомендуется, т.к. ил, проникая в сорбент, ухудшает его работу. Также нельзя увеличивать высоту ho выше 20 см, т.к. это приведет к уменьшению сечения на входе и увеличению линейной скорости движения жидкости u.

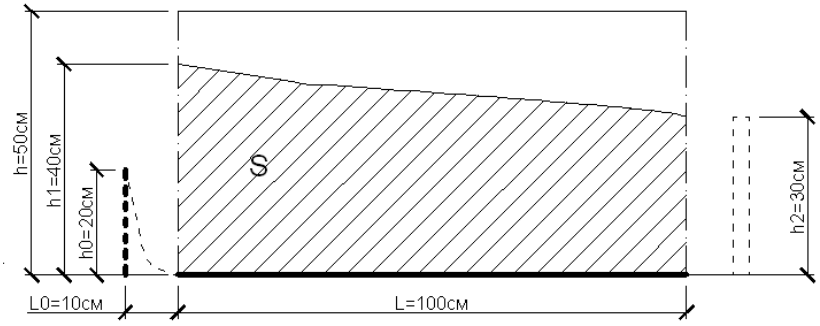


Рисунок 3. Продольное сечение сорбционного модуля с полностью проницаемой лобовой стенкой

Для улучшения работы модуля-блока и гидротехнического сооружения в целом лобовую стенку можно сделать полностью проницаемой (рис. 3), а непроницаемый барьер отодвинуть на расстояние, равное длине зоны заиливания Lo, чтобы иловый остаток накапливался между блоком и барьером. Благодаря таким изменениям сечение на входе в блок-модуль увеличится (а значит, уменьшится линейная скорость движения жидкости на входе), кроме того, незначительно, но увеличится рабочая площадь сечения S.

Таким образом, при использовании сорбционных блоков-модулей с полностью проницаемыми лобовой и замыкающей стенками, работа гидротехнического сооружения становится более эффективной по сравнению с ранее рассмотренным сооружением, т.к. с увеличением входного сечения линейная скорость движения воды находится в диапазоне ламинарного режима, а рабочая площадь продольного сечения увеличивается.

Литература

1. Vatin N., Golovkova N., Chechevichkin V., The hydroengineering constructions for continuous sorbention sewage treatment. The Int. Youth Sci. Envir. Forum “ECOBALTICA-2008”, 26-28 June 2008, SPb 2008, p.177-180.
2. Челищев Н.Ф., Беденштейн Б.Г., Володин В.Ф. Цеолиты – новый тип минерального сырья. М., Наука, 1987. 176 с.
3. Справочник по гидродинамическим расчетам / Под ред. П.Г.Киселева. М., Энергия, 1974. 312 с.
4. Чугаев Р.Р. Гидравлика. М., Госэнергоиздат, 1963. 528 с.

*Александра Михайловна Корчевская,

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.

Тел. моб. +7-921-335-72-68; эл. почта al_kor4ev@mail.ru.

Увеличение звукоизоляции двустенных конструкций за счет применения звукоизолирующих мостиков

Д.т.н., профессор ГОУ СПбГМТУ и ГОУ СПбГПУ И.И. Боголепов*

Двустенные конструкции с воздушным слоем между стенками играют главенствующую роль в звукоизоляции жилых, общественных и промышленных зданий. Это касается, в первую очередь, окон, двойных дверей, специальных звукоизолирующих стен и перегородок, акустических потолков, помещений «комната в комнате» (венткамеры, звукоизолирующие кабины управления, помещения для конфиденциальных переговоров) и др. Постоянно возникающая здесь у инженера-строителя проблема состоит в том, что звукоизоляция двустенной конструкции сильно зависит от конструктивной связи между стенами-пластинами, которую образуют детали крепления: соединительные стержни, обрешетник, ребра жесткости по контуру и т.д. Эти детали являются акустическими мостиками, по которым звук распространяется от первой пластины ко второй, часто минуя звукоизолирующий воздушный слой. Такие мостики могут значительно уменьшить звукоизоляцию двустенной конструкции. Как увеличить звукоизоляцию двустенной конструкции за счет применения специальных звукоизолирующих мостиков?

Исследование

Акустические мостики рационально разделить по типу конструкции на точечные и линейные мостики. Точечный мостик – это стержень, расположенный *перпендикулярно* к пластинам двустенной конструкции. Стержнями могут быть соединительные шпильки, болты, винты, шурупы. Линейные мостики образуются стержнями, расположенными *параллельно* пластинам двустенной конструкции. Обычно это бруски обрешетника или соединительные ребра жесткости.

Достаточно точно и надежно определить влияние акустических мостиков на звукоизоляцию двустенной конструкции можно экспериментально, для чего необходима специальная установка, которая позволяет измерить звукоизоляцию двустенной преграды с мостиками и, что особенно важно, без них. Устройство такой установки, разработанное автором, представлено в [1,2]. Ниже приводятся некоторые типовые результаты многочисленных исследований влияния акустических мостиков на звукоизоляцию двустенной конструкции на этой установке.

Двустенная конструкция размерами 1100 на 1200 мм^2, на которой испытывали в данном случае различные акустические мостики, состояла из пластины дюралюминия толщиной 4 мм и стальной пластины толщиной 1 мм, между которыми находился воздушный промежуток толщиной 60 мм. Испытываемые мостики устанавливались в этом промежутке и соединяли пластины между собой. Конструкция линейных мостиков показана на рис. 1, конструкция точечных – на рис. 2.

Линейные мостики крепились шурупами с шагом 330 мм. Расстояние между линейными мостиками было также равно 330 мм. Точечные мостики устанавливались в тех же местах, где были шурупы линейных мостиков, т.е. в углах квадрата 330 на 330 мм^2.

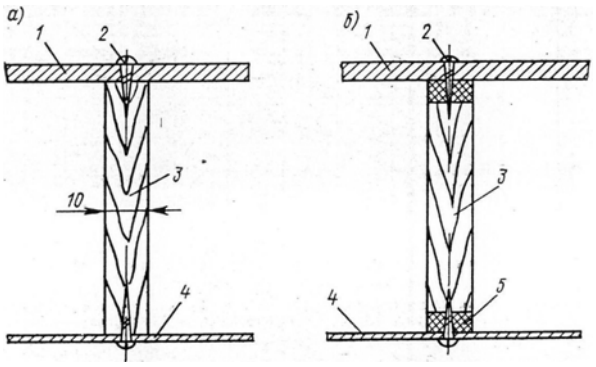


Рисунок 1. Конструкции линейных акустических мостиков: а) – обычные мостики; б) – мостики с упругим элементом.
1 – первая пластина; 2 – шуруп; 3 – сосновый брусок; 4 – вторая пластина; 5 – резиновая прокладка (упругий элемент).

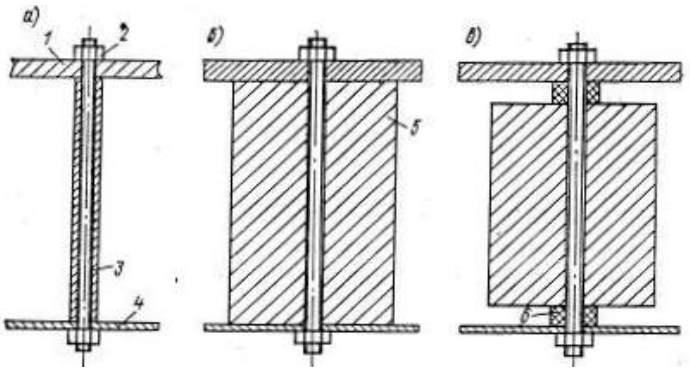


Рисунок 2. Конструкции точечных акустических мостиков: а) обычный мостик; б) инерционный мостик; в) комбинированный мостик.
1 – первая пластина; 2 – прижимная гайка; 3 – распорная трубка; 4 – вторая пластина; 5 – стальной цилиндр (промежуточная масса); 6 – резиновая прокладка (упругий элемент).

На рис. 3 представлены результаты испытания звукоизоляции двустенной конструкции с линейными мостиками и без них. Из рисунка видно, что обычные линейные мостики могут значительно уменьшить звукоизоляцию двустенной конструкции в области средних и высоких частот. Это уменьшение для рассматриваемой конструкции составляет 10-15 дБ. В районе критической частоты ($f_{кр} = 3150 Гц$) и особенно в районе, приближающемся к низким частотам, наблюдается тенденция к снижению вредного для звукоизоляции двустенной конструкции влияния звуковых мостиков. Это может быть объяснено тем, что мостики, жестко соединяя пластины между собой, способствуют приобретению двустенной конструкцитq акустических свойств одностенной конструкции.

Для увеличения звукоизоляции двустенной конструкции за счет уменьшения звукопередачи через линейные мостики в последних были установлены упругие элементы, как это показано на рис. 1б. В качестве упругого элемента использовали прокладку из мягкой вакуумной резины толщиной 5 мм и площадью 1,5 см^2. Применение упругих элементов в линейных мостиках увеличило звукоизоляцию двустенной конструкции, как это видно из рис. 3, примерно на 5 дБ, однако максимально возможные значения звукоизоляции данной двустенной конструкции достигнуты не были.

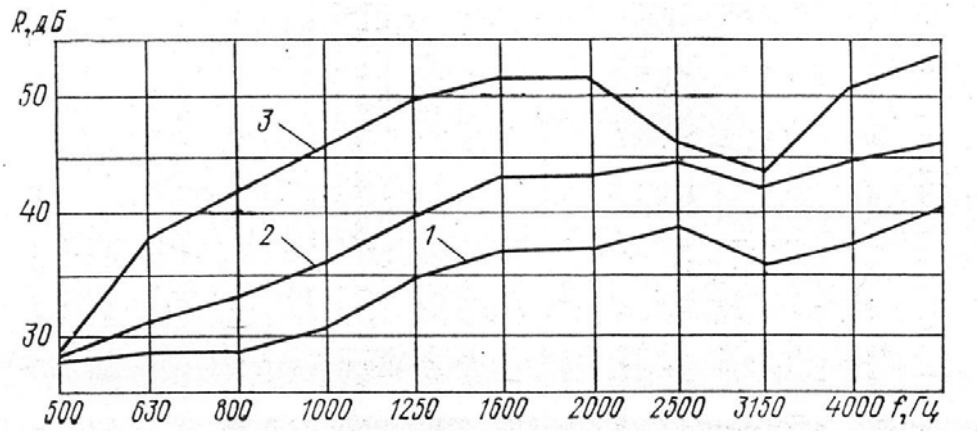


Рисунок 3. Влияние линейных акустических мостиков на звукоизоляцию двустенной конструкции. 1 – конструкция с мостиками по рис. 1а; 2 – конструкция с мостиками по рис. 1б; 3 – конструкция без мостиков.

На рис. 4. представлены результаты испытания звукоизоляции двустенной конструкции с точечными акустическими мостиками и без них. Обычные точечные мостики, например, в виде крепежной шпильки, показанной на рис. 2. а), уменьшают звукоизоляцию двустенной конструкции в среднем примерно на ту же величину, что и обычные линейные мостики, т.е. на 10-15 дБ. Для увеличения звукоизоляции двустенной конструкции с точечными мостиками были применены упругие элементы и промежуточная масса. Упругие элементы были такие же и располагались в тех же местах, как и у линейных мостиков. Промежуточная масса представляла собой стальной цилиндр диаметром 40 мм и высотой 60 мм. Устанавливали её в местах расположения упругих элементов. Сначала промежуточную массу устанавливали между пластинами (см. рис. 2. б)). Звукоизоляция двустенной конструкции с точечными мостиками увеличилась от применения промежуточной массы, как это видно на рис. 4., примерно на 8 дБ, т.е. немного больше, чем от применения упругих элементов в линейных мостиках. Затем промежуточные массы были установлены между упругими элементами (см. рис. 4в). Увеличение звукоизоляции при таком соединении пластин достигло максимальных значений (около 15 дБ).

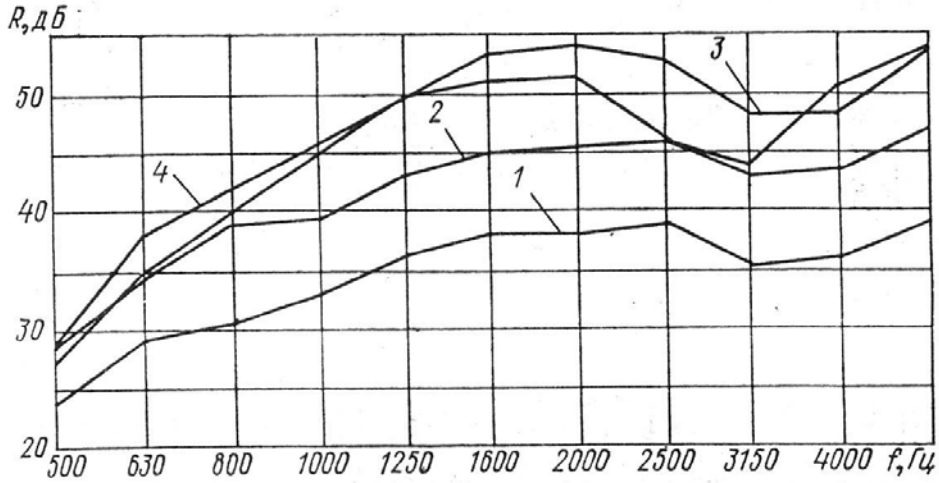


Рисунок 4. Влияние точечных акустических мостиков на звукоизоляцию двустенной конструкции. 1 – конструкция с мостиками по рис. 2а; 2 – конструкция с мостиками по рис. 2б; 3 – конструкция с мостиками по рис.

Таким образом, обычные детали крепления в двустенной конструкции могут существенно уменьшить её звукоизоляцию, являясь мощными звуковыми мостиками. Можно значительно увеличить звукоизоляцию таких преград, введя в акустические мостики упругие элементы и промежуточные массы, которые образуют так называемые *звукоизолирующие мостики*, обеспечивающие максимальную звукоизоляцию для данной двустенной конструкции.

На рис. 5 показана звукоизоляция описанной выше конструкции с точечными акустическими мостиками, без акустических мостиков и без мостиков плюс звукопоглощающий материал АТМ-1 [2] между пластинами. Как видно из рисунка, отсутствие мостиков, а затем установка звукопоглощающего материала между пластинами могут увеличить звукоизоляцию двустенной конструкции на очень большую величину – в данном случае в районе 1000-2000 Гц на 20-35 дБ. Отметим, что реализовать для звукоизоляции применение звукопоглотителя между пластинами удается лишь при отсутствии акустических мостиков.

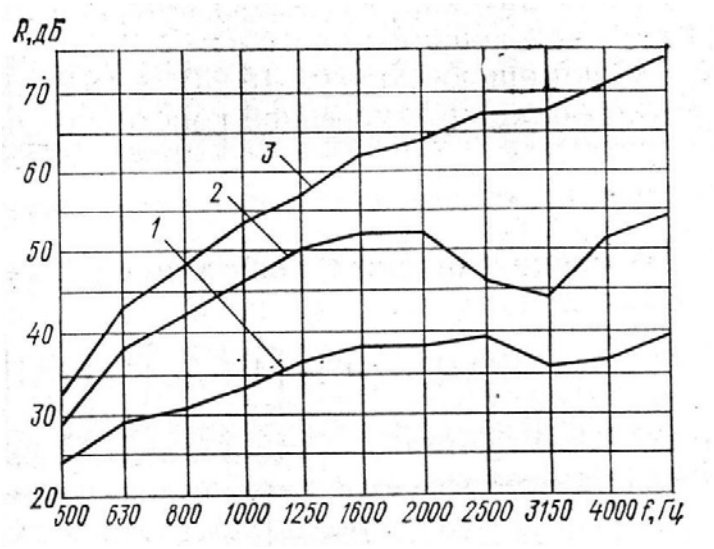


Рисунок 5. Максимальное увеличение звукоизоляции двустенной конструкции за счет исключения звуковых мостиков и установки звукопоглощающего материала.
1 – между пластинами звуковые мостики (стальные шпильки); 2 – без звуковых мостиков;
3 — без звуковых мостиков плюс звукопоглощающий материал АТМ-1.

Таким образом, специальные акустические мостики рационально применять в качестве звукоизолирующих трех типов: инерционных, упругих и комбинированных. Важно знать их акустические закономерности для конструирования и расчета.

Конструирование и расчет

Рассмотрим случай, когда между пластинами находится слой воздуха и стержни-мостики расположены перпендикулярно к обеим пластинам и жестко с ними соединены. Примем, что колебания каждого отдельного мостика практически не зависят от всех других. Представим интенсивность звука, прошедшего через двустенную конструкцию, суммой интенсивностей звука, прошедших только через воздушный слой J_2, и передаваемого только акустическими мостиками J_3. Если интенсивность звука, падающего на двустенную конструкцию, J_1, а звукоизоляция двустенной конструкции без звуковых мостиков $R_{1.2}$, то звукоизоляция двустенной конструкции с акустическими мостиками

$$R = 10\lg\left(\frac{J_1}{J_2 + J_3}\right) = -10\lg\left(10^{-\frac{R_{1.2}}{10}} + \frac{J_3}{J_1}\right)$$

Следуя Л. Кремеру и М. Хеклю в [2], отношение искомых интенсивностей запишем так:

$$\frac{J_3}{J_1} = \frac{\rho_0 c_0 S_2 v_h^2 \varepsilon_h n}{J_1} = \left|\frac{v_h}{v_1}\right|^2 n \left(\frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_1}\right) 10^{-\frac{R_1}{10}},$$

где S_2 – площадь второй (и первой) пластины;

v_h – колебательная скорость звукового мостика в месте соединения его со второй пластиной;

ε_h – коэффициент излучения второй пластины при возбуждении ее одним мостиком;

n – число звуковых мостиков;

v_1 – колебательная скорость первой пластины;

ε_1 – коэффициент излучения первой пластины;

R_1 – звукоизоляция первой пластины.

Тогда можно представить выражение для звукоизоляции двустенной конструкции с акустическими мостиками следующей формулой:

$$R = R_{1.2} - \Delta R_M$$

Здесь величина, оценивающая влияние акустических мостиков на звукоизоляцию двустенной конструкции, определяется формулой:

$$\Delta R_M = 10\lg\left[1 + \left|\frac{v_h}{v_1}\right|^2 n \left(\frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_1}\right) 10^{\frac{R_{1.2}-R_1}{10}}\right] = 10\lg[1 + A]$$

Рассмотрим две ситуации влияния акустических мостиков, то есть влияния величины ΔR_M на величину R .

Первая ситуация. При выполнении условия

$$\left|\frac{v_h}{v_1}\right|^2 n \left(\frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_1}\right) 10^{\frac{R_{1.2}-R_1}{10}} = A > 5$$

можно утверждать с точностью до 1 дБ, что $\Delta R_M \approx 10\lg A = R_{1.2} - R_1 + 10\lg\left[\left|\frac{v_h}{v_1}\right|^2 n \left(\frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_1}\right)\right]$

И тогда звукоизоляция двустенной конструкции с акустическими мостиками

$$R = R_{1.2} - \Delta R_M = R_1 - 10\lg\left[\left|\frac{v_h}{v_1}\right|^2 n \left(\frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_1}\right)\right]$$

Следовательно, звук от первой пластины далее будет передаваться главным образом посредством мостиков. Такие акустические мостики называются звуковыми мостиками. Они сводят на нет звукоизоляционные преимущества двустенной конструкции перед одностенной и могут иногда даже усиливать излучение звука (это важно для музыкальных инструментов типа скрипки или гитары). Звукоизоляция двустенной конструкции со звуковыми мостиками может быть меньше звукоизоляции её первой стенки. Применение *звуковых мостиков* в звукоизолирующих двустенных конструкциях категорически *запрещено.*

Вторая ситуация. При выполнении условия

$$\left|\frac{v_h}{v_1}\right|^2 n \left(\frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_1}\right) 10^{\frac{R_{1.2}-R_1}{10}} = A < \frac{1}{5}$$

Можно утверждать с точностью до 1 дБ, что

$$\Delta R_M = 10\lg\left[1 + \left|\frac{v_h}{v_1}\right|^2 n \left(\frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_1}\right) 10^{\frac{R_{1.2}-R_1}{10}}\right] = 10\lg[1 + A] < 1\ дБ, \quad то\ есть\ \Delta R_M \approx 0.$$

И тогда $R = R_{1.2} - \Delta R_M \approx R_{1.2}$

Следовательно, в этом случае передача звука через мостики настолько мала, что звукоизоляция двустенной конструкции с мостиками практически равна звукоизоляции без мостиков. Именно такие мостики следует называть *звукоизолирующими мостиками*. Применение именно звукоизолирующих мостиков в строительной практике должно считаться *обязательным*. Из двух рассмотренных разновидностей акустических мостиков – звуковых и звукоизолирующих – далее будем заниматься только звукоизолирующими. Для них, как было показано выше, должно быть выполнено условие:

$$\left|\frac{v_h}{v_1}\right|^2 n \left(\frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_1}\right) 10^{\frac{R_{1.2}-R_1}{10}} = \left|\frac{1}{B}\right|^2 n \left(\frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_1}\right) 10^{\frac{R_{1.2}-R_1}{10}} = A < \frac{1}{5}$$

Во многих обычных двустенных звукоизолирующих конструкциях длина точечного звукоизолирующего мостика во много раз меньше длины продольной звуковой волны, распространяющейся в нем. Тогда можно принять, что

$$B = \frac{v_1}{v_h} = \left(1 + \frac{Z_{(2)}}{Z_{(1)}}\right) + i\left(\frac{M}{Z_{(1)}} + \frac{Z_{(2)}}{D}\right)\omega ,$$

где $Z_{(1)} = 2{,}3\, s_1^2 \sqrt{\rho_1 E_1}$, $Z_{(2)} = 2{,}3\, s_2^2 \sqrt{\rho_2 E_2}$ – импедансы первой и второй пластины при точечном возбуждении;

$D = \dfrac{E\, S_M}{l}$ – жесткость мостика (E, S_M, l – модуль упругости, площадь поперечного сечения и длина мостика);

$M = \dfrac{\pi d^2}{4} l\, \rho$ – масса мостика (d и ρ – диаметр и плотность цилиндрического мостика).

Учитывая это соотношение, рассмотрим физическую сущность и основы проектирования и расчета трех основных видов звукоизолирующих мостиков.

Инерционные звукоизолирующие мостики. Если между легкими и податливыми пластинами установлены массивные и жесткие мостики так, что имеет место быть

$$\frac{M}{Z_{(1)}} >> \frac{Z_{(2)}}{D} \quad \text{или} \quad M\, D >> Z_{(1)}\, Z_{(2)} ,$$

то получаем следующее соотношение для инерционного звукоизолирующего мостика:

$$\left|\frac{v_1}{v_h}\right|^2 = \left(1 + \frac{Z_{(2)}}{Z_{(1)}}\right)^2 + \left(\frac{M}{Z_{(1)}}\right)^2 \omega^2$$

Передача звука через мостик такого вида уменьшается, главным образом, с увеличением массы мостика M (инерционный эффект) и с уменьшением массы и жесткости первой пластины (уменьшение величины $Z_{(1)}$). Путем увеличения массы мостиков можно добиться даже большего увеличения звукоизоляции, чем за счет увеличения массы пластин двустенной конструкции. Установка звукоизолирующих инерционных мостиков в легкой двустенной преграде повышает прочность и устойчивость всей конструкции, что важно для изделий промышленной звукоизоляции (звукоизолирующие оболочки машин, звукоизолирующие кабины управления и др.). Это – новый вид акустического мостика. Инерционные мостики необходимо применять для таких двустенных звукоизолирующих конструкций, в которых критические частоты пластин первой и второй несущей конструкции лежат выше расчетного диапазона частот, т.е. выше 10000 Гц. Конструкция и схема установки инерционного звукоизолирующего мостика показана на рис. 6.

Согласно этой схеме инерционный мостик состоит из двух тонких металлических стержней диаметром d_1, между которыми находится задерживающая масса M в виде цилиндра с диаметром d_2 и высотой l. Стержни и задерживающая масса выполнены как единое целое. Диаметр стержней делается наименьшим, а диаметр задерживающей массы – наибольшим настолько, насколько это позволяют конструктивные соображения. Основным элементом инерционного мостика является его масса:

$$M = \frac{\pi d_2^2}{4} l\, \rho ,$$

где ρ – плотность материала мостика.

Инерционный мостик рекомендуется изготовлять из стали или из другого материала с большой плотностью. Размеры l, d_1 и d_2 выбираются из конструктивных соображений с обязательным выполнением условия $d_1 << d_2$.

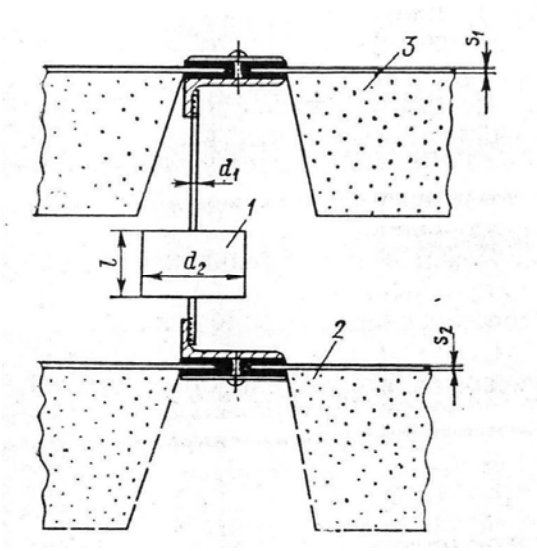


Рис. 6. Звукоизолирующий инерционный мостик. 1 – инерционный мостик; 2 – первая конструкция; 3 – вторая конструкция

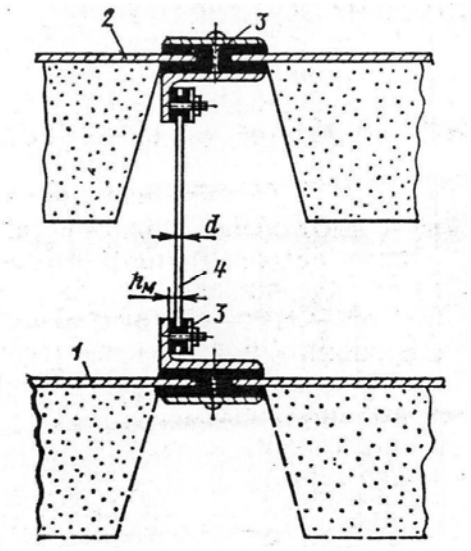


Рис. 7. Звукоизолирующий упругий мостик. 1 – первая конструкция; 2 – вторая конструкция; 3 – резиновая прокладка; 4 – соединительная планка

Масса инерционного мостика M, кг, должна удовлетворять требованию:

$$M \geq \frac{s_1^2}{f_{\Gamma 1}} \sqrt{\rho_1 E_1} \ ,$$

Где s_1 – толщина пластины одностенной конструкции, м;

ρ_1 – плотность материала пластины, кг/м^3;

E_1 – динамический модуль упругости этой же пластины, Па.Первая граничная частота $f_{\Gamma 1}$, Гц, определяется по формуле [3]:

$$f_{\Gamma 1} = 85 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{h\, m_1\, m_2}} \ ,$$

где m_1 и m_2 – поверхностные массы первой и второй пластины, кг/м^2;

h – расстояние между пластинами, м.

Массу M подсчитывают отдельно для первой и второй конструкции, а затем выбирают наибольшее значение.

Упругие звукоизолирующие мостики. Если в двустенной конструкции установлены мостики из податливых, упругих и легких материалов между достаточно жесткими и массивными пластинами так, что имеет место быть

$$\frac{M}{Z_{(1)}} << \frac{Z_{(2)}}{D} \text{ или } M\, D << Z_{(1)}\, Z_{(2)} ,$$

то получаем отношение

$$\left| \frac{v_1}{v_h} \right|^2 = \left(1 + \frac{Z_{(2)}}{Z_{(1)}} \right)^2 + \left(\frac{Z_{(2)}}{D} \right)^2 \omega^2 \ .$$

Для повышения звукоизолирующего эффекта в этом случае необходимо уменьшать жесткость мостика D (отсюда название «упругие звукоизолирующие мостики») и увеличивать массу и жесткость второй пластины (увеличение величины $Z_{(2)}$). Упругие звукоизолирующие мостики давно и наиболее широко

используются для увеличения звукоизоляции и виброизоляции различных конструкций путем применения упругих прокладок и амортизаторов. Это традиционный вид звукоизолирующего мостика. Схема конструкции упругого мостика представлена на рис. 7. Упругие мостики рекомендуется применять для двустенных звукоизолирующих конструкций, у которых критические частоты пластин первой и второй конструкции лежат в пределах расчетного диапазона частот. Упругий мостик состоит обычно из резиновой прокладки толщиной h_M и площадью S_M, которую устанавливают, например, между соединительной планкой и уголками каркаса. Соединительная планка изготовляется обычно из стали или другого прочного материала толщиной d, равной примерно средней толщине пластин специальной двустенной звукоизолирующей конструкции, т.е. $d \approx \frac{s_1 + s_2}{2}$, и шириной, равной примерно $a \approx 2\sqrt{S_M}$ на каждой стороне планки. Основным элементом упругого мостика является резиновая прокладка, акустически разъединяющая первую и вторую конструкцию, с жесткостью D, Н/м, определяемая формулой:

$$D = \frac{E_M S_M}{h_M},$$

где E_M – динамический модуль упругости резиновой прокладки, Па.

Динамическая жесткость резиновой прокладки должна удовлетворить следующему требованию:

$$D \le s_1^2 \, f_{\Gamma 1} \sqrt{\rho_1 E_1}.$$

Все величины и их размерности в правой части этой формулы такие же, как и в формуле для массы M в инерционном мостике. Жесткость упругого мостика подсчитываются отдельно для пластин первой и второй конструкции, а затем выбирают меньшее значение. В качестве упругого элемента звукоизолирующего мостика часто используют амортизатор. Промышленность выпускает большой ассортимент амортизаторов различного назначения. В данном случае наиболее подходят амортизаторы, применяемые для защиты приборов от вибрации. Жесткость амортизатора определяется по формуле:

$$D = \frac{F_M}{\Delta h},$$

где F_M – номинальная нагрузка на амортизатор, Н;

Δh – деформация амортизатора под действием номинальной нагрузки, м.

Пример установки амортизатора в качестве упругого звукоизолирующего мостика показан на рис. 8.

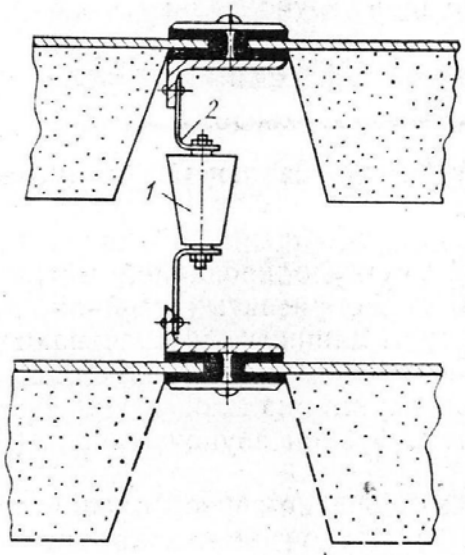


Рисунок 8. Звукоизолирующий инерционный мостик с амортизаторами.
1 – амортизатор; 2 – соединительная планка

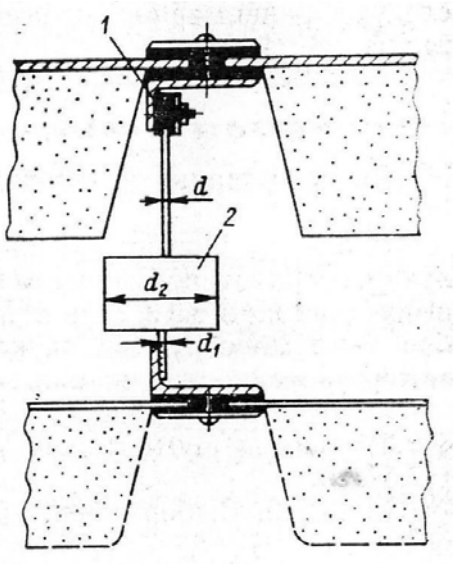


Рисунок 9. Звукоизолирующий комбинируемый мостик.
1 – упругий элемент; 2 – инерционный элемент

Комбинированные звукоизолирующие мостики. Их необходимо применять для таких двустенных звукоизолирующих конструкций, у которых критическая частота пластины одной из конструкций лежит в пределах расчетного диапазона частот, а критическая частота пластины другой – выше этого диапазона. Конструкция и схема установки комбинированного мостика показана на рис. 9. Комбинированный мостик имеет два основных элемента: инерционный и упругий. Эти элементы устанавливаются последовательно: элемент с массой M со стороны конструкции, где критическая частота лежит выше расчетного диапазона частот, а элемент с жесткостью D со стороны конструкции, где критическая частота лежит в пределах расчетного диапазона частот. Масса M инерционного мостика и жесткость D упругого мостика определяются по приведенным выше формулам.

Критическая частота пластины, упомянутая выше, определяется по формуле: $f_{кр} \approx 0{,}55 \dfrac{c_0^2}{s\,c}$,

где c_0 – скорость звука в воздухе, м/с;

s – толщина пластины, м;

c – скорость продольных звуковых волн в пластине, м.

При проектировании инерционных, упругих и комбинированных звукоизолирующих мостиков следует иметь в виду, что их число должно быть минимальным, но достаточным для обеспечения устойчивого соединения между собой первой и второй конструкции.

Для увеличения звукоизоляции двустенной конструкции до максимально возможных значений следует применять представленные в данной статье *инерционные, упругие и комбинированные звукоизолирующие мостики*, а также новые, более совершенные, которые, я полагаю, появятся в обозримом будущем.

В заключение следует также отметить, что главная инновация XXI века в борьбе с шумом, а именно высокоэффективная вакуумная звукоизоляция в жилых, общественных и промышленных зданиях будущего [5], может быть успешно реализована только со звукоизолирующими мостиками.

Научные исследования и опытно-конструкторские разработки с целью создания простых, дешевых, технологичных и высокоэффективных звукоизолирующих мостиков должны быть в строительной акустике продолжены.

Строительная акустика – быстроразвивающаяся отрасль науки и техники [4]. Здесь за последние годы появилось множество международных и европейских стандартов, решение важных задач по силам лишь профессионалам. Необходимо, прежде всего, повышение квалификации проектировщиков по разделу «Строительная акустика». Например, в рамках курса «Проектирование зданий и сооружений» на инженерно-строительном факультете ГОУ СПбГПУ планируются занятия по проектированию и расчету средств борьбы с шумом в жилых, общественных и промышленных зданиях.

Литература

1. Боголепов И.И., Семенова В.Н., Кузнецов Ю.В. Устройство для измерения звукоизоляции. Авторское свидетельство № 408997 // Бюллетень изобретений № 48. М., 1973.
2. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. Теория, исследования, проектирование, изготовление, контроль. Монография. Л., 1986.
3. Боголепов И.И. Строительная акустика. Общие профессиональные дисциплины в Политехническом университете. СПб., 2006.
4. Handbook of Noise and Vibration Control / Ed. Malcolm J. Crocker. N.Y., 2007.
5. Боголепов И.И. Вакуумные звукоизолирующие конструкции // Инженерно-строительный журнал, № 1-2008. СПб., 2008.

**Игорь Ильич Боголепов, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

Тел. раб. 297-59-49, 535-79-92; эл. почта igor.bogolepov@mail.ru

Перспективы применения нанобетона в монолитных большепролетных ребристых перекрытиях с постнапряжением

Магистр ГОУ СПГПУ Е.В. Кишиневская*;
д.т.н., профессор ГОУ СПГПУ Н.И. Ватин;
профессор ГОУ СПГПУ В.Д. Кузнецов

При проектировании и строительстве конструкций существенную роль играет выбор материала — бетона. От него будет зависеть прочность, надежность конструкций и сооружения в целом. Нанобетон, характеризующийся высокими физико-механическими показателями, открывает новые возможности для проектирования и строительства.

Проявившийся в последнее время повышенный интерес к программам работ в области нанотехнологии вызвал в строительном материаловедении появление своеобразного термина «нанобетон», не имеющего однозначного толкования в научно-технической литературе. Нанобетон – это группа методов и спектр наноматериалов, использование которых (в совершенно различных сочетаниях) позволяет управлять набором свойств строительных композиций на основе минеральных вяжущих, даже необязательно цементных. Общий признак: нанобетон обладает теми или иными преимуществами благодаря своей особой структуре, задаваемой на наноуровне. Нанобетонами могут являться и быть названы бетоны совершенно различных классов и марок. При этом разработка рецептур и технологий, использующих этот новый подход, находится в настоящее время на начальной стадии. Нанобетон не является каким-то определенным ярким составом, реализующим узкую строительную или строительно-дорожную задачу.

В последние десятилетия в строительной химии появились новые виды пластифицирующих добавок к бетонам, основанных на использовании поликарбоксилатов и их производных, отличающихся чрезвычайно высокой пластифицирующей способностью [5]. Однако их широкое применение сдерживается весьма значительной стоимостью – более $3-8 за кг. В этих условиях, крайне актуальной задачей является поиск и исследование путей снижения технологических концентраций пластификаторов в цементных растворах.

НТЦ Прикладных нанотехнологий создал оригинальную методику решения этой задачи, основанную на практическом использовании принципиально новых физических явлений, связанных с возможностями нанотехнологий. В 1999-2008 гг. была создана серия новых строительных материалов — «нанобетонов», в том числе, были улучшены потребительские свойства пластификаторов бетонных смесей за счет их микромодификации фуллероидными нанодобавками [1].

Был разработан и поставлен на производство, в том числе, «Бетон наноструктурированный легкий» со следующими характеристиками:

- плотность – 1,2÷1,6 т/м^3;
- прочность на сжатие — 30÷60 МПа;
- прочность на изгиб — 4÷8 МПа;
- теплопроводность – менее 0,2÷0,4 Вт/(м·К);
- водопоглощение не более 0,4%;
- водонепроницаемость – W20;
- огнестойкость – более 780°С;
- морозостойкость – F300-F350.

«Нанобетон легкий» ТУ-5789-027-23380399-2007 может быть отнесен к бетонам следующего класса: В35; F300-350; W16-20; П 4; D 1,6 т/м^3.

Использование фуллероидных наномодификаторов в каталитических количествах позволяет при всех прочих равных условиях усилить пластифицирующий эффект на величину от 30 до 100%.

Такое же использование наномодификаторов позволяет увеличить прочность бетона на 20-25%. Эта величина является нижней оценкой эффекта, поскольку при уменьшении В/Ц, очевидно, будет получено дополнительное увеличение прочности.

Пластичность цементной смеси увеличивается в первые 1-2 часа после приготовления еще примерно на 20%.

Повышенная трещиностойкость и прочность на сжатие, а также снижение плотности нанобетона при одновременном повышении физико-механических показателей имеет большой практический интерес для проектирования.

Легкий нанобетон обладает рядом одновременных уникальных свойств:

- довольно высокая прочность;
- высокая огнестойкость;
- высокая морозостойкость;
- низкое водопоглощение;
- низкая плотность (удельный вес);
- высокая работа разрушения.

Направления практического применения исследованных эффектов могут быть следующими:

- снижение расхода пластификатора на 50 – 60% без ущерба для показателей удобоукладываемости цементной смеси;
- увеличение прочности бетона за счет снижения В/Ц на 15-20%, которое можно использовать для:

  а) снижения расхода цемента на 20 – 25 %;
  б) уменьшения толщины конструктивных элементов.

Экономическая выгода при использовании нанобетона не отражается в стоимости самого бетона (цена (рыночная) легкого нанобетона 20 тыс.рублей/куб.м , что в пять раз больше, чем для рядового В25). Она определяется из стоимости всего сооружения в целом. Уменьшение стоимости происходит за счет толщины и веса конструкций (снижение нагрузки на фундамент), расхода цемента.

В настоящей работе рассматривается возможность применения легкого нанобетона в преднапряженных монолитных перекрытиях. Выбор этого материала для изучения основан на том, что нанобетон легкий применяется в промышленно-гражданском строительстве, в том числе в перекрытиях зданий. Для устройства постнапряженных ж/б конструкций обычно применяется высокопрочный бетон с прочностью 35 МПа, 45 МПа. Нанобетон легкий имеет прочность 30-60 МПа. Таким образом, он по своим характеристикам наиболее соответствует поставленным задачам.

Монолитный железобетон широко применяется при возведении объектов гражданского, промышленного, транспортного и специального назначения. Использование армирования обеспечивает повышение прочности конструкции, но остается проблема низкой трещиностойкости бетона при его растяжении. Чтобы скомпенсировать возникающее в процессе эксплуатации растяжение, необходимо создать в железобетоне усилие сжатия, при этом знак напряжения в бетоне будет противоположен знаку напряжения от эксплуатационной нагрузки. Требуемое напряжение обеспечивается передачей усилия натяжения арматурных элементов. Растянутый почти до разрыва арматурный элемент железобетонной конструкции будет стремиться вернуться в первоначальное состояние, т.е. сжаться, тем самым, создавая усилие обжатия бетона в растянутой зоне.

Наиболее эффективным является размещение каната в конструкции по эпюре изгибающих моментов.

У истоков этой концепции стояли Эжен Фрейссине (Франция) и Виктор Васильевич Михайлов (Россия), который в 1936 году защитил посвященную этому методу диссертацию.

На данный момент в России сертифицирована и успешно применяется система предварительного напряжения без сцепления каната с бетоном.

Суть метода заключается в том, что в процессе арматурных работ между верхней и нижней сеткой арматуры выкладывается арматурный канат в оболочке, фиксируемый в криволинейном положении в соответствии с эпюрой изгибающих моментов.

Основным элементом системы является арматурный семипроволочный канат диаметром от 12 до 15.7 мм. Канат в заводских условиях заключается в пластиковую оболочку с прослойкой смазочного состава.

Канатная арматура поставляется, как правило, в бухтах весом 2,5-3 т. Такой канат в оболочке получил в нашей стране и за рубежом наименование «моностренд». В процессе арматурных работ канат размещается в арматурных каркасах и фиксируется по торцам конструкции при помощи анкерных устройств.

После заливки бетона и набора бетоном достаточной прочности производится натяжение каната при помощи гидравлического оборудования.

При проектировании преднапряженных конструкций с системой преднапряжения без сцепления с бетоном следует руководствоваться следующим принципом: преднапряженная арматура передает усилия на бетон не по всей длине, а только в местах анкеровки на торцах конструкции, а также в местах перегиба канатов. Соответственно, преднапряжение должно быть принято в расчете как приложенные к конструкции внешние силы. Силы, возникающие в местах перегиба канатов, зависят, в первую очередь, от геометрии каната и усилий в нем. Как правило, в конструкциях применяется два типа раскладки канатов: свободная

раскладка, при которой фиксируются только анкерные элементы, и фиксированная раскладка, с фиксированием каната на подкладках. При свободной раскладке геометрия каната определяется его жесткостными характеристиками, собственным весом и габаритами конструкции.

Рисунок 1. Принципиальная схема раскладки канатов в конструкции

В настоящее время технология преднапряжения применяется практически во всех строящихся зданиях из монолитного железобетона в США и во многих сооружениях в Европе, Японии, Китае и других странах. Причем эта технология применяется в 80% случаев в жилищно-гражданском и дорожном строительстве и лишь в 20% случаев – при строительстве мостов, АЭС и др. уникальных сооружений.

В России в настоящее время систему натяжения на бетон применяет ряд строительных организаций, в т. ч. «DSI-PSK», ЗАО «СТЭФС», ООО «СТС» и др. Она использовалась при строительстве различных сооружений в Москве и Екатеринбурге, однако в большинстве случаев это многоэтажные гаражи или торговые площадки. Поэтому основной задачей в этом направлении является освоение массового применения систем натяжения на бетон без сцепления в жилищно-гражданском и дорожном строительстве из монолитного железобетона. При этом рассматривается применение преднапряжения без сцепления (ПБС) в плитных конструкциях, начиная с фундаментных плит и заканчивая плитами перекрытий многоэтажных зданий, дорожными и аэродромными плитами.

Анализ имеющихся статей и публикаций по этой теме [2, 7, 8, 9] показывает, что результатов по исследованию постнапряженных монолитных перекрытий недостаточно.

Для изучения работы постнапряженных монолитных перекрытий используем метод конечных элементов. Методика расчета данных конструкций изложена в магистерской диссертации И.С. Дзюбы «Монолитное большепролетное ребристое перекрытие с постнапряжением». Работа посвящена актуальной задаче исследования конструкций с использованием постнапряжения арматуры. Была разработана модель и методика составления расчетной схемы такой конструкции, произведено исследование ее поведения на действие постоянных и временных нагрузок. Данная методика конечно-элементного моделирования и расчета постнапряженной конструкции заключается в моделировании ребра плиты оболочечными элементами, а стренда — стержневыми элементами, связанными с узлами оболочки связями конечной жесткости. При этом натяжение стренда моделируется температурной нагрузкой на стержень.

Воспользуемся ранее созданной моделью монолитного ребристого перекрытия с постнапряжением, пролет которого 16х16м. Составными частями конструкции являются: монолитные продольные и поперечные балки сечением 800х120 мм с шагом 2 м, в которых располагается напрягаемый стренд, верхняя плита 120 мм. В работе представлена разработка расчетной модели конструкции перекрытия (рис. 2). Расчет был произведен при помощи программы SCAD путем приложения к расчетной схеме внешней нагрузки [2].

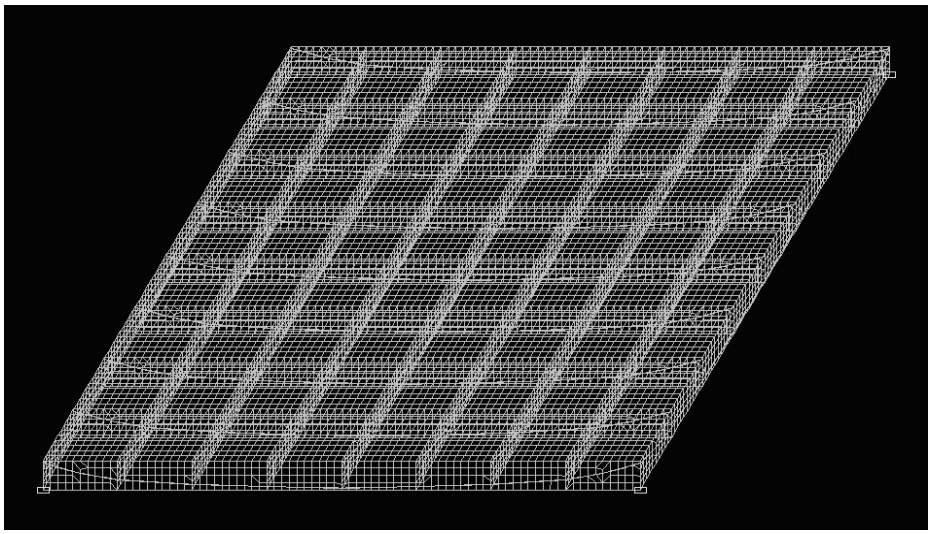


Рисунок 2. Общий вид расчетной модели перекрытия

Метод расчета данной задачи и метод моделирования конструкции изложен в [2].

Типы элементов, используемых при расчете в ПК SCAD:

- стержневые элементы – тип 5;
- оболочечные элементы – тип 44;
- специальные элементы (связи конечной жесткости) – тип 55.
- Нагрузки и воздействие в расчетной схеме:
- авто собственный вес конструкций;
- температурная;
- полезная нагрузка.

Для задания собственного веса конструкции были взяты следующие характеристики материала:

- марка бетона В40; модуль упругости 3,06·10-6 т/м^2 объемный вес 2,5 т/м^3
- марка «Нанобетона легкого» В35; модуль упругости 3,31·106 т/м^2 (величина модуля упругости взята условно, данная характеристика подлежит уточнению в процессе дальнейшего исследования нанобетонов) и объемный вес 1,6 т/м^3.

В основу расчета положен метод конечных элементов с использованием в качестве основных неизвестных перемещений и поворотов узлов расчетной схемы. В связи с этим идеализация конструкции выполнена в форме, приспособленной к использованию этого метода, а именно: система представлена в виде набора тел стандартного типа (стержней, оболочек и связей конечной жесткости), называемых конечными элементами и присоединенных к узлам [2].

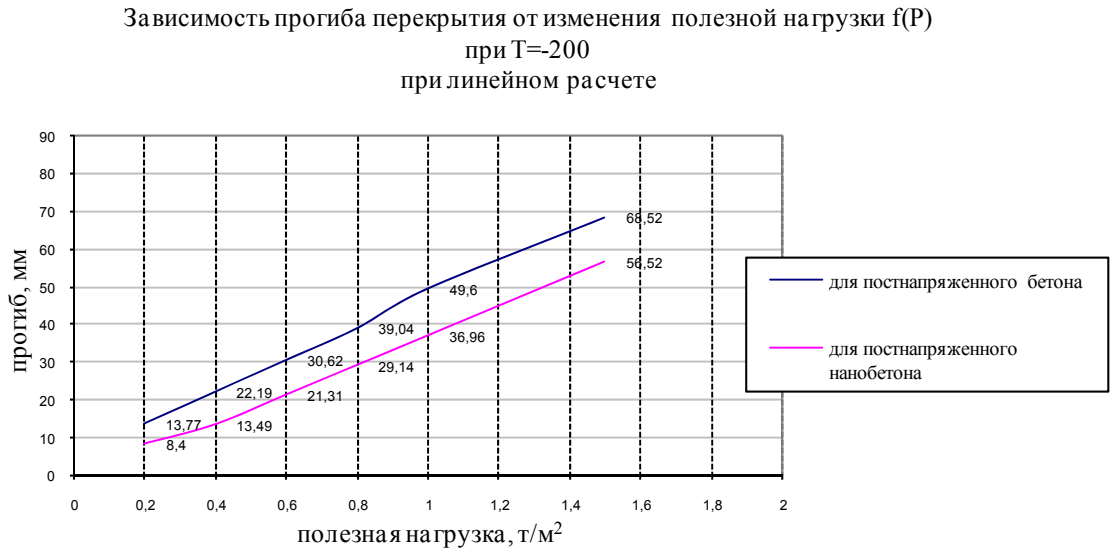


Рисунок 3

Сила натяжения стренда 35т, что моделируется воздействием отрицательной температуры на стержень, равной T=-200˚С.

Были получены зависимости: вертикального прогиба конструкции от действия нагрузки, вертикального прогиба конструкции от усилия в стрендах, выпор перекрытия от усилия в стрендах.

Согласно п. 10.7 СНиП «Нагрузки и воздействия» [10], устанавливающего предельные прогибы и перемещения несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений при расчете по второй группе предельных состояний независимо от применяемых строительных материалов получаем: f=16000/230=69,6мм – предельный прогиб перекрытия (для промышленного здания).

Исследование модели показывает, что картины деформации перекрытия соответствуют общеизвестным теоретическим данным о работе таких конструкций. Результаты, полученные при линейном расчете (рис. 3): прогиб в рамках допустимого еще при нагрузке P=1,5т/м^2 для постнапряженного бетона и составляет 68,52 мм, в то время как для постнапряженного нанобетона 56,52 мм.

На основании данных, полученных при расчете расмотренной конструкции, сделан следующий вывод: более эффективным для преднапряженных монолитных перекрытий является использование «Бетона

наноструктурированного легкого», так как значение прогиба таких конструкций существенно меньше по сравнению с изделиями из традиционных цементных бетонов.

Экспериментальные работы по наноструктурированию строительных композиций при разработке армированных конструкций открывают перспективы создания новых легких и надежных изделий для предприятий строительного комплекса.

Литература

1. Юдович М.Е., Пономарев А.Н. Регулирование свойств пластичности и прочностных характеристик литых бетонов // Строительные материалы, № 1/2007.
2. Дзюба И.С., Ватин Н.И., Кузнецов В.Д. Монолитное большепролетное ребристое перекрытие с постнапряжением. Технология и конструкции. СПб., 2008.
3. Пономарев А.Н. Нанобетон – концепция и проблемы. 1. Синергизм наноструктурирования цементных вяжущих и армирующей фибры // Строительные материалы, № 6/2007.
4. Пономарев А.Н. Технико-эконоические аспекты и результаты практической модификации конструкционных материалов микродобавками нанодисперсных фуллероидных модификаторов // Вопросы материаловедения, №3(35)/2003.
5. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. М., 1990.
6. Мадатян С.А. Новые технологии и материалы для арматурных работ в монолитном железобетоне // Технологии бетонов, № 3/2006.
7. Черныгов Е.А. Исследование эффективности применения технологии натяжения арматуры на бетон без сцепления // Молодые ученые в транспортной науке. Научные труды ОАО ЦНИИС. М., 2005.
8. Лихов З.Р. Совершенствование преднапряженных железобетонных стропильных балок и методов их расчета : Дис. Канд. Техн. Наук : 05.23.01 Ростов н/Д, 2004.
9. Осипов М.В. Железобетонные балки с переменным преднапряжением вдоль арматурных стержней: Дис. канд. техн. наук: 05.23.01. Ростов н/Д, 2005.
10. СНИП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия».
11. Гранквист Р.В. Будущее строится сегодня // Буклет ЛенСпецСМУ. СПб, 2003.
12. Http://www.nanoteh.ru/index.html

**Евгения Викторовна Кишиневская,*

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Тел. моб. +79043329705;

Эл. почта janeva2004@mail.ru

Установка для приготовления термопласта

Студентка ГОУ ЧГУ А.А. Смирнова*; к.т.н., профессор ГОУ ЧГУ В.Г. Попов

Термопласты — полимерные материалы, способные обратимо переходить при нагревании в высокоэластичное либо вязкотекучее состояние. Полимеры-термопласты могут иметь линейное или разветвленное строение, быть аморфными либо кристаллическими. Переработка термопластов в изделия не сопровождается необратимой химической реакцией. Термопласты пригодны к повторной обработке (формованию). Они обладают теплоизолирующими, гидроизоляционными свойствами, плохо поддаются горению.

Покрытия из термопласта обладают следующими свойствами:

- высокая эластичность
- противостояние ударным, механическим и химическим нагрузкам, вибрациям и подвижности
- высокая износостойкость
- стойкость к перепадам температур
- экологичность
- длительный срок эксплуатации

На кафедре «Теоретическая механика и сопротивление материалов» Череповецкого государственного университета была разработана установка, предназначенная для приготовления в стационарных или приобъектных условиях термопласта, состоящего из следующих компонентов: опилки, глина, каменноугольная смола (продукт коксо-химпроизводства) и вода.

Термопласт представляет собой эмульсию и служит для изготовления покрытия кровли. Частицы опилок обволакиваются смолой и глиняным раствором. После укладки эмульсии на бетонную стяжку вода испаряется, остается сплошная масса.

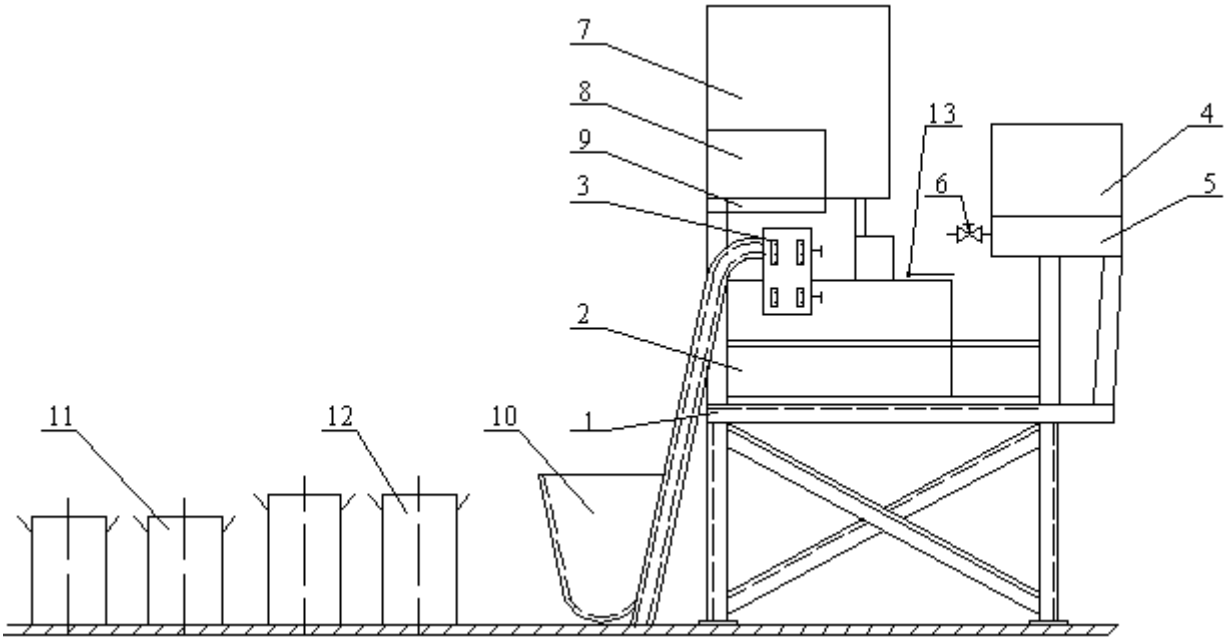


Рисунок 1. Установка для приготовления термопласта

1 – рама; 2 — бетоносмеситель; 3 — пульт управления; 4 — емкость для воды;

5 – мерная емкость; 6 — кран; 7 — емкость для каменноугольной смолы;

8 — мерная емкость; 9 — электроподогрев воды; 10 — скиповой подъемник;

11 и 12 – мерные объемные емкости для глины и опилок; 13 — крышка бетоносмесителя

Установка (рис. 1) состоит из рамы 1 сварной конструкции, на которой смонтированы бетоносмеситель 2 принудительного перемешивания циклического действия, пульт управления 3, емкость для воды 4, мерная емкость 5 для воды с краном 6, емкость 7 для каменноугольной смолы, мерная емкость 8 для каменноугольной смолы с электроподогревом 9.С одной стороны рамы 1 смонтирован скиповой подъемник 10, а с другой — подъезд для транспорта готовой продукции.

Для дозировки компонентов — глины и опилок — предназначены мерные объемные емкости 11 и 12.

При испытаниях установки выявлено, что невозможно перемешивать компоненты термопласта стандартным бетоносмесителем существующей конструкции. Поэтому были разработаны другая конструкция (рис.2) рабочего органа бетоносмесителя и привод механизма выгрузки готовой продукции.

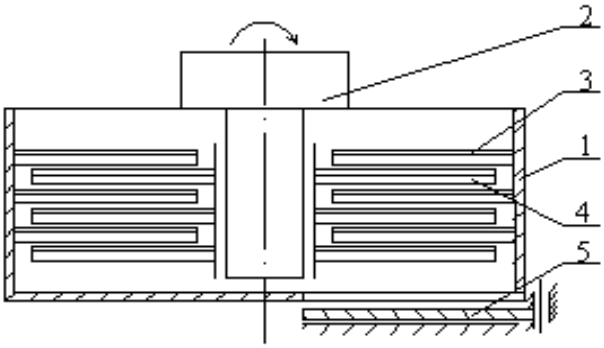


Рисунок 2. Бетоносмеситель с новым рабочим органом: 1 — корпус; 2 — ротор; 3 — подвижные лопасти; 4 — неподвижные лопасти; 5 — затвор

Были демонтированы системы подвижных лопастей, а вместо них смонтированы трехрядные подвижные и неподвижные жестко закрепленные между первыми лопасти (в каждом ряду по четыре лопасти), имеющие в своем сечении ромб. Расстояние между подвижными и неподвижными лопастями составляет 40 мм.

Готовая смесь выгружается через затвор, управляемый электромеханическим толкателем усилием 400 кг, который освобождает от наличия сжатого воздуха. Электромеханический толкатель устанавливается вместо пневмоцилиндра и снабжен внутри своего корпуса конечными выключателями.

Способы устройства кровли: 1 способ – заливка смеси на подготовленную поверхность кровли с помощью бетоно-растворонасоса. Этот способ применим в летнее время, ранней осенью и поздней весной; 2 способ – изготовление готовых плит размером 80х500х500 мм и укладка их при плюсовой температуре воздуха с последующей заливкой швов.

При работе в холодное время года (осенний и весенний периоды работы) вязкость каменноугольной смолы резко снижается, поэтому необходимо производить подогрев в мерной емкости для смолы.

Рассмотренная установка проста по конструкции и не требует значительных капиталовложений и времени на ее изготовление. Так как приготовляемый термопласт состоит из отходов производства, то составляет существенную конкуренцию по стоимости полимерным покрытиям, не уступая им по свойствам.

Данная установка является принципиально новой: ранее не применялись подобные конструктивные решения и материалы для приготовления термопласта. Имеется разрешение пожарной службы и санэпидемстанции на применение термопласта для кровли промышленных зданий и сооружений. На установку оформлены документы на получение патента на полезную модель.

Литература

1. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. М., 1986.
2. Болдырев А.С., Золотов П.П. Строительные материалы: справочник. М., 1989.

**Александра Александровна Смирнова, Череповецкий государственный университет*

Эл. почта shuracha@mail.ru

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»
Инженерно-строительный факультет
Отделение повышения квалификации и профессиональной переподготовки

Профессиональная переподготовка специалистов

Программа предназначена для специалистов строительных и проектных организаций, не имеющих базового строительного образования, а также для лиц, желающих получить дополнительное образование по направлению «Строительство».
Форма обучения вечерняя. По окончании обучения выдается диплом о переподготовке государственного образца с правом на ведение нового вида профессиональной деятельности. Программа рассчитана на 500 ак. часов, обучение проводится в течение одного учебного семестра.
Стоимость обучения 46000 рублей.
Переподготовка ведется по четырем направлениям:

Строительство зданий и сооружений	Экономика и управление в строительстве
▪ *Строительные конструкции и материалы* ▪ *Выполнение строительно-монтажных работ* ▪ *Контроль качества строительно-монтажных работ* ▪ *Управление строительной организацией* ▪ *Функции участников инвестиционно-строительного проекта* ▪ *Основы расчета строительных конструкций*	▪ *Основы строительного дела* ▪ *Технология и контроль качества строительно-монтажных работ* ▪ *Основные функции участников инвестиционно-строительного проекта* ▪ *Функции заказчика-застройщика* ▪ *Управление строительной организацией* ▪ *Сметное дело в строительстве* ▪ *Календарное и сетевое планирование в строительстве*
Проектирование и конструирование зданий и сооружений	**Инженерные системы зданий и сооружений**
▪ *Основы сопротивления материалов и механики стержневых систем* ▪ *Проектирование и расчет оснований и фундаментов зданий и сооружений* ▪ *Проектирование и расчет железобетонных конструкций.* ▪ *Проектирование и расчет металлических конструкций* ▪ *Проектирование зданий и сооружений с использованием AutoCAD* ▪ *Расчет строительных конструкций с использованием SCAD Office*	▪ *Основные понятия механики жидкости и газа* ▪ *Системы вентиляции и кондиционирования. Проектирование, монтаж и эксплуатация* ▪ *Системы отопления. Проектирование, монтаж и эксплуатация* ▪ *Системы водоснабжения и водоотведения. Проектирование, монтаж и эксплуатация* ▪ *Проектирование инженерных сетей и систем с использованием современных программных продуктов*

Контакты

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, Гидрокорпус-2, ауд. 301
552-94-60, 535-79-92
stroikursi@mail.ru
www.stroikursi.spb.ru