www.engstroy.spb.ru

Инженерно-строительный журнал

научно-прикладное издание

ISSN 2071-4726

№5(7) июль-август 2009

СОБЫТИЯ

МАТЕРИАЛЫ

ЭКОНОМИКА

АНАЛИЗ

СЕТИ

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
Выполнение функций заказчика-застройщика	*2 недели*	*10000*
Управление строительной организацией	*2 недели*	*15000*
Технология и контроль качества строительства	*3 недели*	*18000*
Разработка проектов организации строительства	*2 недели*	*11000*
Проектирование металлических конструкций	*2 недели*	*12000*
Календарно-сетевое планирование в строительстве	*2 недели*	*10000*
Проектирование и монтаж систем вентиляции	*2 недели*	*12000*
Проектирование и монтаж систем отопления	*2 недели*	*10000*
Электроснабжение и электрооборудование объектов	*2 недели*	*11000*
Обследование зданий и сооружений	*2 недели*	*12000*
Геодезические разбивочные работы в строительстве	*2 недели*	*15000*
Сметное дело в строительстве	*2 недели*	*18000*

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.

Наименование курса	Продолжительность	Стоимость
Проектирование зданий и сооружений с использованием AutoCAD	*8 дней*	*7000*
Проектирование строительных конструкций с использованием SCAD Office	*8 дней*	*12000*
Проектирование зданий и сооружений с использованием Allplan	*2 недели*	*7000*
Планирование и управление строительными проектами с использованием MS Project	*5 дней*	*7000*

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

Http://www.engstroy.spb.ru – полнотекстовая версия журнала в сети Интернет. Бесплатный доступ, обновление с каждым новым выпуском.

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

Редакционный совет:

Д.э.н., проф. ГОУ СПбГПУ, вице-губернатор Санкт-Петербурга А.И. Вахмистров
Академик РАН, д.т.н., проф., президент ГОУ СПбГПУ Ю.С. Васильев
Член-корр. РАН, д.т.н., проф., проректор ГОУ СПбГПУ по научной и инновационной деятельности А.И. Рудской
Д.э.н., проф., директор Санкт-Петербургского союза строительных компаний «Союзпетрострой» Л.М. Каплан
Д.т.н., проф., декан ИСФ ГОУ СПбГПУ А.И. Альхименко
Д.т.н., проф., зав. каф. ТОЭС ГОУ СПбГПУ Н.И. Ватин
И другие. Полный список редсовета и редколлегии – на веб-сайте журнала.

При перепечатке ссылка на издание обязательна

Отпечатано в типографии «Цифровой типографский центр СПбГПУ»

Установочный тираж 800 экз.

Контакты:

Тел. 297-59-49

E-mail engstroy@inbox.ru

Http://www.engstroy.spb.ru

Содержание

СОБЫТИЯ
Российские технологии во Франции 2
Легкие стальные тонкостенные конструкции в Санкт-Петербурге 3

АНАЛИЗ
И.А. Войлоков, А.М. Горб. О некоторых ошибках при проектировании и устройстве бетонных полов в зданиях производственно-складского назначения 4
Е.В. Абакумов, Д.Ю. Власов, С.А. Старцев. Гуминовые вещества как фактор риска для подземных сооружений 10

СЕТИ
Л.Л. Гошка. Климатические системы: моделирование процессов влияния воздуха на организм человека 18
И.И. Боголепов, А.А. Гладких. Акустический расчет системы вентиляции и кондиционирования в современных зданиях 30
О.В. Аверьянова. Энергосбережение в тепловых сетях за счет параметров теплоносителя 43

ЭКОНОМИКА
А.С. Горшков, И.А. Войлоков. Экономический анализ использования энергоэффективных источников света с точки зрения потребителя 47

ПРЕДСТАВЛЯЕМ КОЛЛЕГ
Санкт-Петербургский зональный научно-исследовательский и проектный институт жилищно-гражданских зданий 51

МАТЕРИАЛЫ
М.В. Кнатько, Е.В. Щербакова, М.Н. Ефименко. Использование материалов из гидролизованных алюмосиликатов глинистых пород для гидроизоляции зданий и сооружений 52
М.В. Кнатько, Е.В. Щербакова. Перспективы применения вторичных сырьевых ресурсов 55

Российские технологии во Франции

09 июля во французском городе Мец проходил семинар-презентация новой технологии для французской строительной отрасли. Это технология легкого наноструктурированного бетона, и представляла ее группа российских ученых и инженеров.

Презентация была организована ассоциацией «Coopération Scientifique et Technologique pour la Lorraine» (CSTL). Предназначение этой организации в том, чтобы поднять экономику французского региона Лотарингия за счет внедрения инновационных технологий. Итогом данной конкретной программы могут стать как закупки инновационного материала в России, так и строительство завода по его производству во Франции.

С самой идеей «нанобетонов» российская публика в целом знакома (см., например: Нанотехнологии – не выдумка последних лет // Инженерно-строительный журнал, №2, 2009; В материаловедении кризиса нет // Инженерно-строительный журнал, №2, 2009). Улучшение различных характеристик бетонной смеси достигается за счет введения углеродных кластеров, влияющих на процесс гидратации. Научному обоснованию наномодифицированных бетонов был посвящен доклад генерального директора Научно-технического центра прикладных нанотехнологий, профессора ГОУ «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» (ГОУ СПбГПУ) Андрея Николаевича Пономарева. Также докладчик выделил основные преимущества строительства с использованием данных материалов:

1) изменение системы армирования и уменьшение за счет этого количества арматуры
2) упрощение фундаментных работ и сокращение объемов затрат на них;
3) исключение гидроизоляции;
4) повышение пожаробезопасности и сейсмостойкости зданий.

Эти преимущества были более подробно рассмотрены в выступлении аспиранта ГОУ СПбГПУ Ольги Евгеньевны Пронских. Ее доклад вызвал наибольший интерес у слушателей, поскольку был посвящен экономике применения легкого нанобетона. В основу этого исследования легла магистерская диссертация О.Е. Пронских, в которой была создана методика оценки проектно-строительных решений жилых монолитных многоэтажных зданий (см.: Аннотации магистерских диссертаций, 2009 год, кафедра «Технология, организация и экономика строительства» // Инженерно-строительный журнал, №4, 2009). В докладе давался сравнительный анализ строительства 24-хэтажного монолитного дома из легкого наномодифицированного бетона и «обычного» бетона марки В25. Безусловно, наномодифицированные бетоны стоят дороже, чем бетон В25. Но экономия была получена за счет таких параметров:

1) снижение стоимости укладки бетонной смеси;
2) снижение стоимости фундаментных работ;
3) снижение расхода арматуры.

Таким образом, применение нанобетона в многоэтажном строительстве представляется целесообразным. Но на данный момент такого опыта в России нет. Практическое применение наномодифицированных бетонов пока в основном связано с транспортным строительством. Об опыте реконструкции моста через р. Волга в г. Кимры Тверской области рассказала начальник лаборатории ЗАО «Институт Стройпроект» Вера Павловна Овчинникова. В качестве дорожной подушки этого моста был использован легкий наномодифицированный бетон.

В целом, в области применения нанотехнологий в строительном материаловедении Россия пока далеко опережает Францию. Так, в начале этого года под Санкт-Петербургом был запущен завод по производству нанодобавок к бетону. О технологии промышленного производства наномодифицированных бетонов рассказывал Михаил Евгеньевич Юдович, к.х.н., заместитель директора ООО «Научно-технический центр прикладных нанотехнологий». Необходимость создания высокоспециализированной линии объясняется сложностью процесса изготовления сухой смеси, которая состоит из множества разнообразных по весу и форме компонентов. Именно промышленное изготовление сухой смеси позволяет затем готовить бетон на стандартном оборудовании и по стандартной технологии.

Некий итог семинара подвел своим выступлением эксперт «Centre Scientifique et Technique du Bâtiment» (CSTB) Франсуа Бутан. Одним из основных направлений деятельности CSTB является экспертиза строительных материалов, в том числе по соответствию их европейским нормам. Испытания образцов легкого наномодифицированного бетона во Франции пока не окончены, в докладе излагались полученные на данный момент результаты – они не противоречат официальным характеристикам этого материала.

Вера Якубсон

Легкие стальные тонкостенные конструкции в Санкт-Петербурге

В нашем журнале неоднократно публиковались статьи о легких стальных тонкостенных конструкциях, методах их расчета и возможностях применения (см., например: Устойчивость при сжатии составных колонн, выполненных из профилей из высокопрочной стали // Инженерно-строительный журнал, №3, 2009). 3 августа нам вместе с сотрудниками ГОУ «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» (ГОУ СПбГПУ) удалось увидеть воплощение на практике применения ЛСТК в ограждающих конструкциях.

Мы побывали на экскурсии на строящийся объект – жилой дом со встроенными помещениями. Здание строится в Санкт-Петербурге по финскому проекту с применением многих конструктивных и технологических новаций. В том числе, в конструкциях ограждающих стен использованы легкие стальные тонкостенные профили. Приятно, что хотя проектировщик зарубежный, профили используются петербургского производства.

При общении с представителями застройщика выяснилось, что технология по-прежнему вызывает сомнения у инженеров-строителей. В основном они вызваны теплотехническими характеристиками материала. Как известно, для устранения «мостиков холода» в стальных профилях делают просечки, но вопросы вызывают места стыка профилей между собой, а также с другими материалами.

Теплотехнический расчет конструкций из ЛСТК – большая сложная тема, работа по которой также ведется на кафедре «Технология, организация и экономика строительства» ГОУ СПбГПУ (см.: Ограждающая конструкция «нулевой толщины» – термопанель // Инженерно-строительный журнал, №1, 2008).

С этой и другими темами представители кафедры ТОЭС выступят на конференции «Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК) – история, практика, проблемы и перспективы применения на отечественном строительном рынке», которая пройдет 11-12 сентября в Ленэкспо в рамках Балтийской строительной недели.

Вера Якубсон

ГОУ СПбГПУ
Политехнический университет

Всероссийская Ассоциация
Металлостроителей

Европейская Ассоциация
легких строительных конструкций

Международная
научно-практическая конференция

11-12 сентября
2009 года

Легкие стальные тонкостенные конструкции:
история, практика, проблемы и перспективы применения на отечественном строительном рынке

Место проведения:
- Выставочный комплекс "Ленэкспо"
- ГОУ СПбГПУ

Основные научные направления конференции:
- *история развития ЛСТК*
- *нормативная база по ЛСТК в России и за рубежом*
- *аналитические и численные методы расчета ЛСТК*
- *расчет перфорированных тонкостенных профилей*
- *опыт применения ЛСТК в различных областях современного строительства*
- *термопанели как ограждающие конструкции XXI века*

Участники:
ВАМ, LSK, ЦНИИПСК им. Мельникова, ГОУ СПбГПУ, ГОУ СПбГАСУ, Сталдом, БалтПрофиль, ЛАССАР, Арсенал-СТ, КНАУФ, РУУКИ...

+7 (812) 297-59-49, 535-79-92 fishermanoff@mail.ru http://www.stroikafedra.spb.ru

О некоторых ошибках при проектировании и устройстве бетонных полов в зданиях производственно-складского назначения

Доцент И.А. Войлоков*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет;
генеральный директор А.М. Горб,
ООО «Конкрит инжиниринг»

Объёмы строительства зданий производственно-складского назначения на сегодняшний день весьма велики. Также велики и объёмы возводимых промышленных полов в этих зданиях, речь идет о миллионах квадратных метров в год. Стремление инвесторов использовать возводимые площади с максимальной эффективностью привело к развитию соответствующих технологий производства, складирования и логистики, позволяющих обеспечить эффективное использование площадей возводимых объектов. Вместе с тем, значительно возросли нагрузки на полы и повысились технические требования к ним.

Условия, в которых эксплуатируются полы, весьма разнообразны, они определяются воздействиями, характерными для данного типа промышленного здания и сооружения. Характер условий эксплуатации вызывает необходимость учитывать различные воздействия, которым подвергаются промышленные полы. Среди многообразия нагрузок и воздействий следует выделить вибрационные, абразивные, динамические и химические нагрузки, а также температурные воздействия. Особо необходимо отметить достаточно высокие удельные давления от опорных частей технологического оборудования и применение в ряде случаев тяжёлого подъемно-транспортного оборудования (ПТО), эксплуатирующегося с достаточно высокой интенсивностью. Кроме этого, возрастающие объёмы строительства низкотемпературных складов-холодильников обуславливают необходимость в этих случаях учитывать воздействия низких температур в сочетании с высокими значениями механических нагрузок и воздействий. Особенностью проектирования и строительства полов на таких объектах являются повышенные требования, предъявляемые к эксплуатационной надёжности и долговечности полов, ввиду отсутствия реальных технических возможностей выведения пола из эксплуатации для выполнения ремонта, недопустимости создания аварийных ситуаций при использовании ПТО, а также отсутствия экономичных и высокоскоростных технологий восстановительного ремонта.

В некоторых случаях, устраиваемые полы должны удовлетворять особым требованиям по ровности, гигиеничности, пылеотделению, искрообразованиию и антистатичности, что требует устройства специальных защитных слоёв и применения современных материалов и технологий.

Произведённые обследования эксплуатируемых объектов показали, что при всех предпринимаемых усилиях со стороны строителей и проектировщиков в процессе эксплуатации пола возникают различные дефекты, основными из которых являются: разрушение кромок швов, отслоение поверхностного слоя, недостаточная ровность, разрушение поверхности от воздействия химических агентов, повышенная истираемость поверхности, а также трещины, как сквозные (структурные), вызывающие недопустимые вертикальные деформации поверхности и изменение расчётной схемы несущей плиты, так и поверхностные, незначительно влияющие на эксплуатационные характеристики пола в целом.

Данная ситуация отражает недостаток у значительного числа строителей и проектировщиков необходимых знаний и опыта, несовершенство нормативной базы, а также показывает, насколько сложна и многогранна задача создания надёжных, долговечных и бездефектных полов.

Объём материала, который необходим для освещения данной темы, весьма значителен. К сожалению, рамки данной статьи не позволяют представить детальные рекомендации, повышающие долговечность полов, так как многие параметры носят случайный характер, и их описание возможно только с использованием достаточно громоздких вероятностных методов. Однако наиболее значимые и концептуальные аспекты данной проблемы можно отразить в рамках данной статьи, поскольку их знание заставит многих более уважительно и настороженно относиться к упрощенческим мнениям и подходам при проектировании и устройстве промышленных полов.

Итак, первое, что хотелось бы отметить, это отсутствие достаточной нормативной базы, соответствующей текущим высоким требованиям к качеству строительной продукции. Это зачастую приводит к вольной трактовке правил проектирования полов, с точки зрения как выбора модели работы грунтового основания, расчетного аппарата, так и типологии принимаемых конструктивных решений. Кратко можно констатировать, что достижение современных требований к эксплуатационным параметрам создаваемого пола невозможно при текущем состоянии нормативной базы. Но даже существующие, безусловно, важные нормативные требования нередко игнорируются.

Рассмотрим перечень основных моментов, не учитываемых по незнанию или пренебрежению на всех этапах проектирования и строительства.

Ряд дефектов пола вызван ошибочными решениями на разных стадиях и этапах создания промышленного пола, а также выбором ошибочных путей экономии, что также будет здесь рассмотрено.

Перечень освещаемых в данной статье типичных ошибок при проектировании, строительстве и эксплуатации полов следующие:

- ошибки на стадии разработки логистической концепции;
- ошибки на стадии составления технического задания;
- ошибки на стадии технического обследования существующего основания;
- недостатки существующей нормативной базы, влияющие на качество проектных решений;
- ошибки на стадии проектирования;
- ошибки на стадии строительства;
- ошибки на стадии эксплуатации.

Рассмотрим подробнее данные аспекты.

Ошибки на стадии разработки логистической концепции

- Отсутствие комплексного подхода, учета всей совокупности влияющих факторов при проработке вариантов бетонного пола (недооценка влияния концептуальных логистических решений на стоимость конструкции промышленного пола): конструкции каркаса здания, типа стеллажного хранения, типов применяемого подъемно-транспортного оборудования.

- Недооценка значимости достоверности исходных данных для стоимости работ и долговечности конструкции (проработка геологии, нагрузок, типов планируемого стеллажного хранения и ПТО).

Ошибки на стадии составления технического задания на проектирование

- Заказчик не предоставляет или предоставляет недостоверные данные о величине статических и динамических нагрузок (отсутствие схем точек приложения и размеров следов опирания нагрузок; попытки обойтись данными о равномерно-распределенных нагрузках).

- Не учитывается перспективная возможность возрастания нагрузок (аварийного, периодического и перманентного) в процессе эксплуатации и возрастания величины абразивных воздействий при смене типа ПТО, а также подъема уровня грунтовых вод (аварийное из водопроводных систем и паводковое подтапливание).

- Формальный подход при проведении обследования подстилающих грунтов, не отражающий реальные свойства существующего основания (отсутствие достоверных данных по перечню безусловно необходимых расчетных величин).

- Не учитываются предполагаемые в период эксплуатации воздействия: абразивные, химические, ударные, вибрационные, температурные (в том числе знакопеременные).

- Не учитываются температурно-влажностные условия конкретной строительной площадки на момент устройства пола (протекание усадочных процессов).

Ошибки на стадии обследования существующего основания

- Обследование основания только недостаточно информативным штамповым методом вместо проведения более полноценных изысканий (определение физико-механических характеристик грунта и степени плотности его слоёв методами режущего кольца и зондирования, с учетом компрессионной работы подстилающего грунта - одноосное сжатие).

- Неправильное определение предполагаемой на моменты строительства и эксплуатации степени водонасыщенности основания (ухудшение несущих свойств некоторых грунтов с её ростом).

- Формальный подход к определению прочностных характеристик существующих грунтового и бетонного оснований при реконструкции существующего пола (устройство новых бетонных слоев) – назначение параметров слоя усиления без проведения инструментальных исследований («со слов» заказчика) или на основании недостаточного количества мест обследования.

Недостатки существующей нормативной базы, влияющие на качество проектных решений

- Нормативные указания по расчету полов не содержат следующие важные решения (проблемы решены только для фундаментных плит и жестких покрытий дорог и аэродромов):
  - по правилам применения армирующих прослоек грунтового основания;
  - по особенностям строительства на слабых, просадочных и насыпных грунтах;
  - по учёту консолидации грунтов нагруженного основания;
  - по расчету грунтов по 2-му предельному состоянию — расчет по сдвигу и по начальной критической нагрузке (в том числе для случаев неполного контакта с основанием и при расчете на действие ПТО – с учетом ядра жесткости);
  - по учету жесткости плиты пола и характера нагрузки (размера следа) при назначении коэффициента постели.
- В связи с резким возрастанием фактических производственных технологических нагрузок на промышленные полы:
  - пришли в несоответствие с реальностью применяемые в расчете полов нормативные коэффициенты условий работы, обоснованные расчётом вероятностными методами,
  - отмечена научным сообществом возникшая необходимость армирования полов (ранее не предусматривавшегося строительными нормами), изменения в нормативную базу до сих пор не внесены.
- Отсутствуют методики расчета напряжений в плите пола в краевых зонах (у краев и углов, как при наличии армирования швов, так и без него).
- Отсутствуют указания по допустимой ширине раскрытия трещин с учётом наличия упругого основания. Нормативная ширина раскрытия трещин в полу от статической нагрузки, равная 0,3мм, приводит к чрезмерному запасу по прочности (около 20%), что является нерациональным при выработке решений с критерием экономичности. Допускаемая при кратковременной динамической нагрузке ширина раскрытия трещин, равная 0,4мм, обеспечивает достаточный запас прочности также и в случаях временной нагрузки, обеспечивает необходимые условия анкеровки арматуры и - в случае нормальной влажности окружающей среды (типичная ситуация в складских зданиях) – требуемую эксплуатационную надежность.

Ошибки на стадии проектирования

- Необоснованные попытки применять при расчете полов методы, предназначенные для фундаментов и жестких покрытий дорог и аэродромов, несмотря на принципиальные различия расчетных схем взаимодействия оснований и бетонных конструкций, без учета различия достигаемых грунтовым основанием деформативных стадий.
- Неверный выбор модели работы грунтового основания — игнорирование одноконстантной модели Винклера:
  - максимально соответствующей характеру работы системы «грунтовое основание – плита пола» (в упругой стадии) и использующей в качестве расчетной характеристики при вычислении жесткости основания модуль упругости (вместо применяемого при расчете фундаментов модуля деформации и применяемого при расчете жестких покрытий аэродромов и дорог динамического модуля упругости);
  - учитывающей наличие реакции основания;
  - предусматривающей изменения характера взаимной работы системы «грунт – плита» во времени;
  - предусматривающей произвольное, наиболее неблагоприятное сочетание нагрузок.
- Необоснованное использование для расчета полов компьютерных автоматизированных комплексов, разработанных для проектирования фундаментов, и не соответствующих реальной схеме работы пола (гибкая бесконечная плита, лежащая на упругом основании). Такие программные продукты не содержат в расчетном алгоритме существенных для проектирования полов исходных данных.
- Встречающееся в отдельных случаях выполнение инженерных расчетов конструкции пола, использующих показатели по прочности бетона на растяжение при изгибе. Данный метод предусматривает устройство полов с применением бетона со специально подобранным составом смеси, который изготавливается далеко не каждым бетонным заводом, что создает проблемы его поставки при строительстве. При расчете полов из сталефибробетона использование показателя по прочности бетона на растяжение при изгибе не предусмотрено действующими нормативами.

- Неиспользование резерва набранной в период после 28 дней прочности бетона при планировании проектного нагружения конструкции в значительно более поздние сроки (минимум через 2-3 месяца после завершения бетонных работ).

- Применение в проектах устаревших типовых решений по конструкции пола, не соответствующих сегодняшним знаниям и технологическим возможностям, – многослойных (2-3 слоя) бетонных слоёв с весьма тонким рабочим слоем (40-50мм), отслаивающихся друг от друга, создающих в процессе эксплуатации массу дефектов. Современное рациональное решение – однослойная плита с поверхностью «чистый пол», выполняемая в один прием, иногда с применением бетонной подготовки по технологическим причинам.

- Недостаточное обоснование выбора типа конструкции пола (бетон, фибробетон, железобетон, с комбинированным армированием, двухслойная бетонная конструкция). Отсутствие всестороннего анализа вариантов в угоду одному из факторов (стоимости, уровню подготовки проектировщика, пожеланию чрезмерной надежности и т.п.) приводит к неэкономичности выбранного решения или несоответствию условиям эксплуатации, как пример:

  - завышение толщины слоя бетонной подготовки (для обеспечения движения техники в период строительства здания и монтажа оборудования) в двухслойной бетонной конструкции в ущерб снижению эксплуатационной надежности рабочего финишного бетонного слоя (в случае назначения его толщины менее 120мм), вызванное сложностями проектирования многослойных жестких конструкций;
  - при армировании стальной фиброй отказ от дополнительного армирования стержневой арматурой (комбинированное армирование) отдельных мест с концентрацией напряжений для повышения надежности и долговечности.

- Отсутствие в проекте решений и расчетов по типу, конструкции и месту расположения швов пола, по дополнительному армированию угловых, краевых и расположенных у колонн участков и т.п., по методике стержневого армирования (необходимость и расположение линий разреза верхней и нижней рабочей арматуры) и прочей детализации.

- Ошибки при назначении соответствующего эксплуатационным требованиям материала финишного покрытия, в том числе, при выборе типа упрочнителя поверхности, вызванные отсутствием сравнительных данных, на основе единой методики тестирования износостойкости;

- Отсутствие расчета на морозное пучение и устройства морозозащитных слоев при планировании временного содержания построенного теплого здания в зимний период без отопления.

- Отсутствие в проекте решений по минимизации затрат на устройство соответствующего нагрузкам искусственного грунтового основания и рекомендаций по методам достижения требуемой степени его уплотнения;

- Выполнение инженерного расчета конструкции плиты пола по показателям условной равномерно-распределенной нагрузки вместо расчета по данным о сосредоточенных нагрузках и их взаимном влиянии (по причине отсутствия на момент проектирования пола данных о типе стеллажного и прочего опирающегося на пол оборудования, а также о типе планируемого к применению ПТО).

Рисунок 1. Трещина на шве. Следствие неправильной технологии

Финансовые ошибки на стадии проектирования

- Вопреки требованиям нормативов не применяется сравнительный экономический анализ вариантов с учетом стоимости, продолжительности строительства, возможности применения местных или более экономичных материалов,

- Не проводится анализ вариантов армирования для снижения стоимости и сроков работ, ускорения сроков ввода объекта и достижения желаемой эксплуатационной надежности полов (программный анализ возможных конструкций – армобетонной, железобетонной, сталефибробетонной, одно- и многослойной, с совмещенными и несовмещенными швами, с применением бетонной подготовки и без нее, с учетом дополнительных конструкционных слоев основания и без них и т.п.),

- Не применяются сложные методы инженерного расчета конструкции для исключения неоправданного запаса прочности (при проектировании не используется принцип разумной достаточности для минимизации стоимости пола),

- Используются ненадежные в эксплуатации проектные и технические решения или конструкции пола с необоснованным излишним запасом прочности - низкое качество проектирования (фактически это прямые финансовые потери заказчика). Ошибки проектирования приводят к значительно большим финансовым потерям, чем экономический выигрыш от торга с исполнителями работ в процессе проведения тендера о стоимости куба бетона, тонны арматуры, работы за квадратный метр. Качественное проектирование дает заказчику возможность при проведении тендера сосредоточить свои усилия на главном – на поиске дееспособного исполнителя работ, гарантированно обеспечивающего качество, что исключит значительную долю последующих совокупных финансовых затрат – на текущие ремонты полов в течение всего планируемого периода эксплуатации.

Ошибки на стадии строительства

- Отсутствие понимания роли выбираемой технологии устройства полов в достижении требуемой для работы ПТО ровности (допусков, определённых отраслевыми мировыми стандартами: Великобритании — TR 34 (классы SF, 1, 2, FM1 и FM2+); Германии — DIN 15185 (табл.1,2); США — F-min). Предпочтительным методом строительства высокоровного пола в узкопроездных складах высотного стеллажного хранения, безусловно, является полосовое бетонирование с ручным разравниванием поверхности. Ровность, обеспечиваемая выбранной технологией, должна соответствовать характеру технологических операций, подлежащих выполнению на обустраиваемых площадях (производство, комплектация, временное хранение, высотное хранение, узкопроходный проезд и т.п.).

- Некачественная подготовка основания (по ровности, качеству применяемых материалов и достигнутой степени уплотнения).

- Недостаточное уплотнение грунтов в пазухах; недостаточное уплотнение слоев искусственного основания (грунт, песок, щебень).

- Непонимание того, что многослойное искусственное грунтовое основание большой толщины не может доуплотниться, и что важно исключить естественное разуплотнение подготовленного основания (начало укладки бетона через длительный срок после вскрытия материковых плотных пластов, промораживание увлажненного основания и проч.).

- Допущение промерзания основания под полом, рассчитанным на эксплуатацию в отапливаемом помещении (случаи отказа от поддержания положительных температур в построенном отапливаемом здании).

- Несоблюдение проектных параметров по качеству армирования, толщине защитных слоев, толщине и классу бетона.

- Учитывая возможность получения бетона с фактически заниженными значениями прочности, рекомендуется использовать (заказывать) бетон с показателем прочности выше на один класс по сравнению с расчётным.

- Поставка бетонным узлом бетона, не соответствующего заявленному (увеличенные показатели по воздухововлечению, с пластифицирующими добавками, сохраняющими подвижность при уменьшении расхода цемента).

Рисунок 2. Трещины на плите

Рисунок 3. Трещины на шве и плите. Причина - неправильная технология и конструктив

- Игнорирование особенностей процесса схватывания и начального набора прочности бетона при устройстве полов.
- Применение бетона, не соответствующего по показателям подвижности.
- Нарушение регламентированных сроков нарезки швов и их параметров.
- Технологические нарушения при укладке, обработке бетона и уходе за ним в период твердения.
- Незапланированные перерывы в процессе бетонирования, увеличивающие количество технологических швов.

Финансовые ошибки на стадии строительства (вопросы тендерной политики)

- Применение технологий укладки бетона, не соответствующих требованиям ровности, что приводит к дальнейшему доравниванию поверхности дорогостоящими полимерными составами.
- Отказ от предоставления всего производственного цикла «в одни руки» для предотвращения ошибочных промежуточных технических решений, удорожающих строительство и эксплуатационные затраты за счет вынужденного увеличения несущей способности силовой плиты по причине недостаточного уплотнения грунтового основания (в том числе под черновым бетонным слоем); выравнивания неправильных высотных отметок существующего чернового бетонного основания, выполненного неквалифицированной организацией; увеличения суммарной толщины бетонного пола при некорректном проекте (эксплуатационно ненадежные толщины чистовых бетонных стяжек - менее 120 мм).

Ошибки на стадии эксплуатации

- Превышение фактических статических и динамических нагрузок над проектными.
- Применение не предусмотренного техническим заданием на проектирование ПТО с большим значением удельного колёсного давления.
- Нарушение установленных режимов уборки пола.
- Нарушение проектного температурно-влажностного режима эксплуатации.
- Частичный демонтаж пола, приводящий к появлению усадочных трещин от углов и изменению расчётной схемы плиты вблизи этих участков.
- Не предусмотренное проектом краевое нагружение пола вблизи краев и углов карт, разуплотнение грунта вблизи краев бетонной плиты.

Таким образом, залогом бездефектного строительства промышленных полов является разработка проектов высокого качества, учет при производстве работ условий конкретной стройплощадки и применение материалов, соответствующих требованиям к полам. Также необходимым условием для развития этой сферы строительства является совершенствование нормативной базы.

Главная же гарантия успешного строительства – это привлечение к работе профессионалов на всех стадиях создания пола.

Литература

1. Долматов Б.И., Бронин В.Н., Карлов В.Д., Мангушев Р.А., Сахаров И.И., Скотников С.Н., Улицкий В.М., Фадеев А.Б. Основания и фундаменты. СПб, 2002.
2. Полы. Технические требования и правила проектирования, устройства, приёмки, эксплуатации и ремонта (в развитие СНиП 2.03.13-88 «Полы. Нормы проектирования» и СНиП 3.04.01-87 "Изоляционные и отделочные покрытия") / ЦНИИ Промзданий. М., 2004.
3. СНиП 2.03.13-88 «Полы. Нормы проектирования».
4. ASI 302.1R-04 Guide for Concrete Floor and Slab Construction.
5. TR №34 "Бетонные промышленные полы" (CS).
6. Vinkler E. die Lehre von der Elastizetat und Festigkeit, 1867.

**Илья Анатольевич Войлоков, Санкт-Петербург*

Тел. моб.: +7(921)944-52-99; эл. почта: ilya@voilokov.ru

Гуминовые вещества как фактор риска для подземных сооружений

К.б.н., доцент Е.В. Абакумов,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный университет;
д.б.н., доцент Д.Ю. Власов,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный университет;
профессор С.А. Старцев*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Механизмы агрессивного воздействия химических веществ на подземные строительные сооружения достаточно хорошо изучены. Как правило, эти вещества попадают в грунт из-за антропогенного загрязнения. Менее изученными являются механизмы агрессивного воздействия на подземные строительные сооружения подземной микробиоты и гуминовых веществ, которые встречаются не только в поверхностном слое, но и на глубинах десять и более метров. Эти факторы обусловлены естественными процессами. Изучению процессов повреждения строительных материалов и строительных конструкций под воздействием этих двух факторов посвящена настоящая статья/

В почвах, грунтах, природных водах и даже в воздухе находятся гуминовые вещества – специфические природные макромолекулярные гетерополидисперсные органические соединения [1], характеризующиеся агрессивностью по отношению к минералам, горным породам, искусственным кристаллическим химическим соединениям [2, 3].

Известно, что гуминовые вещества представлены двумя большими группами – гуминовыми кислотами и фульвокислотами. Последние являются особенно агрессивными по отношению к природным и искусственным твердофазным минеральным веществам. В последнее время все более интенсивно исследуется водорастворимое органическое вещество (ВОВ или DOC – dissolved organic carbon), которое также проявляет агрессию по отношению к минеральным веществам.

Известно, что в тех средах, где встречаются гуминовые вещества, происходит преобразование (трансформация) минеральной компоненты грунтов. Интенсивность этого процесса зависит от концентрации гуминовых веществ, температуры, влажности грунта, скорости потока грунтовых вод. Известно, что гуминовые вещества могут оказывать агрессивное воздействие и на подземные бетонные/железобетонные конструкции [4].

Здесь следует отметить, что гуминовые вещества встречаются не только в поверхностном (гумусовом) слое. Они могут встречаться и на более глубоких уровнях в виде погребённых остатков древних растений, животных и т.п. Их минерализация может быть остановлена низкой температурой, отсутствием кислорода, недостатком влаги. Эти параметры оказывают существенное влияние на химические процессы и на жизнедеятельность микроорганизмов, принимающих активное участие в процессе трансформации гуминовых веществ. Отепляющий эффект, вода, просачивающаяся вдоль стен сооружений, кислород, попадающий в подземное пространство при проходке тоннелей и обустройстве подземных сооружений, в том числе предназначенных для хранения опасных отходов, могут существенно повлиять на активность подземной микробиоты и привести к активизации процессов трансформации органических компонент грунтов (рис. 1, 2). Агрессивному воздействию микробиоты и гуминовых веществ на подземные строительные конструкции подвергаются, в первую очередь, места наибольшего механического напряжения: швы, стыки конструкций, места ввода коммуникаций и иных инженерных сетей.

Рисунок 1. Прорыв грунта в тоннель в месте заделки разгрузочного крана

Рисунок 2. Там же, увеличено

При проектировании подземных строительных сооружений, в том числе глубокого заложения, необходимо учитывать возможную опасность агрессивного воздействия на сооружение указанных выше факторов. Для того чтобы применить адекватные меры защиты подземных сооружений, необходимо при проведении изыскательских работ проводить исследования грунтов на их микробиологическое заражение и наличие гуминовых веществ. При этом необходимо не только установить присутствие в грунтах этих агрессивных компонент, но и дать оценку степени их агрессивности.

Рисунок 3. Образование пузырьков в органической слизи

Экспериментальное исследование степени агрессивности гуминовых веществ по отношению к бетону

Постановка эксперимента

Для проведения эксперимента гуминовые вещества были выделены из торфяной почвы, отобранной с глубины 3 м из скважины на пересечении пр. Маршала Жукова и пр. Маршала Казакова в Санкт-Петербурге. Этот торф является погребенным в толще грунтов, что весьма характерно для грунтов Приневской низменности. Торф из участка строительства новой ветки метро был взят в качестве источника гуминовых веществ не случайно, а именно для того, чтобы использовать в эксперименте по воздействию на бетон гуминовых веществ, находящихся в природных грунтах. Испытуемые образцы были взяты из керна бетона, отобранного из тюбинга при обследовании технического состояния одного из тоннелей метрополитена. Для выяснения, какие именно гуминовые вещества, содержащиеся в образце грунта, наиболее агрессивны по отношению к бетону, из образца были выделены ВОВ, гуминовые кислоты и фульвокислоты.

Гуминовые вещества выделяли из торфяной почвы следующим способом. Из навески почв водой экстрагировали водорастворимое органическое вещество (соотношение почва-вода – 1:20). Эта группа гуминовых веществ в дальнейшем фигурирует как ВОВ. Далее к почве добавляли гидроксид натрия (0,1 Н) в соотношении почва-щелочь – 1:10, и далее разделяли на гуминовые кислоты и фульвокислоты классическим способом (Пономарева, 1980). Гель гуминовых кислот и раствор фульвокислот диализовали в дистиллированной воде до отрицательной реакции на сульфат-анион. После чего фульвокислоты растворяли в воде непосредственно, а гель гуминовых кислот растворяли на воронке с фильтром при помощи чуть подогретой дистиллированной воды. Таким образом, в эксперименте использовали именно водорастворимые формы всех групп гуминовых веществ, т.к. в природе только они могут мигрировать внутри грунтовой толщи и находиться в природных грунтовых водах.

Далее в разные стаканы помещали отдельные куски бетона весом 250 г. Приливали в первый стакан раствор ВОВ, во второй – водный раствор гуминовых кислот (ГК) и в третий – водный раствор фульвокислот (ФК). В четвёртом стакане образец бетона был залит дистиллированной водой. Эти растворы выдерживались во взаимодействии с бетоном в течение 1 месяца. После этого куски бетона были высушены, далее их изучали мезоморфологически при увеличениях около 50 Х. Растворы, оставшиеся после эксперимента, равно как и растворы гуминовых веществ, использовавшиеся для эксперимента, анализировали на содержание органического углерода, pH растворов, содержание кальция и коэффициент цветности гуминовых веществ (Орлов, 2005).

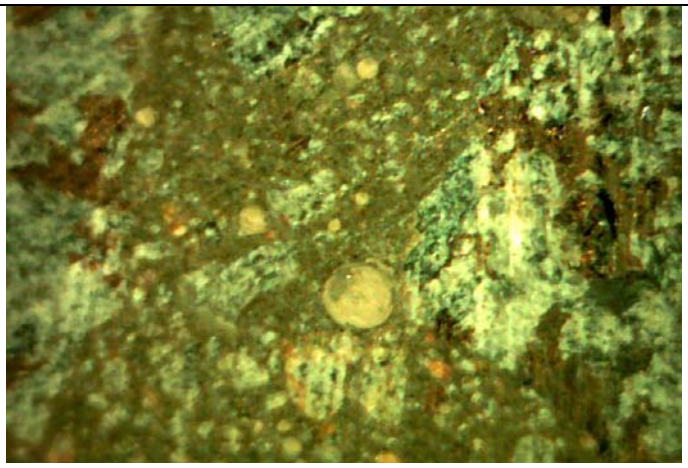
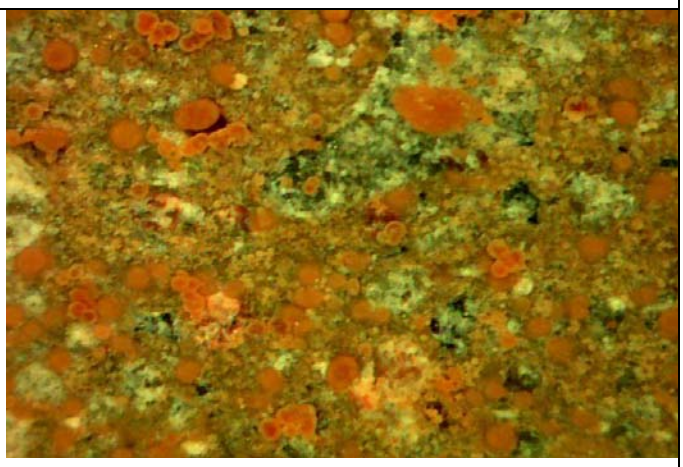
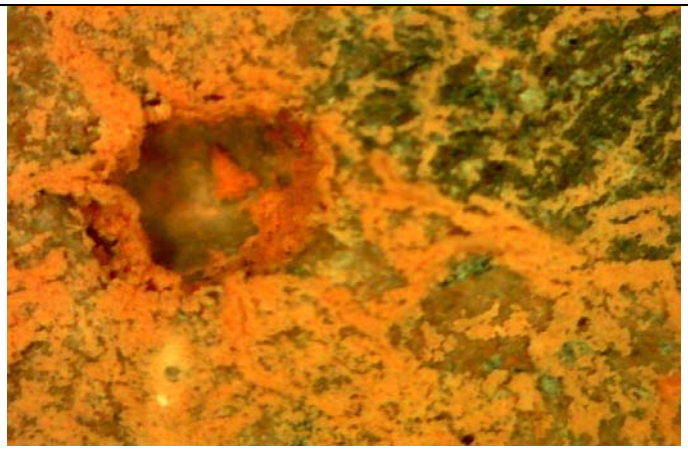
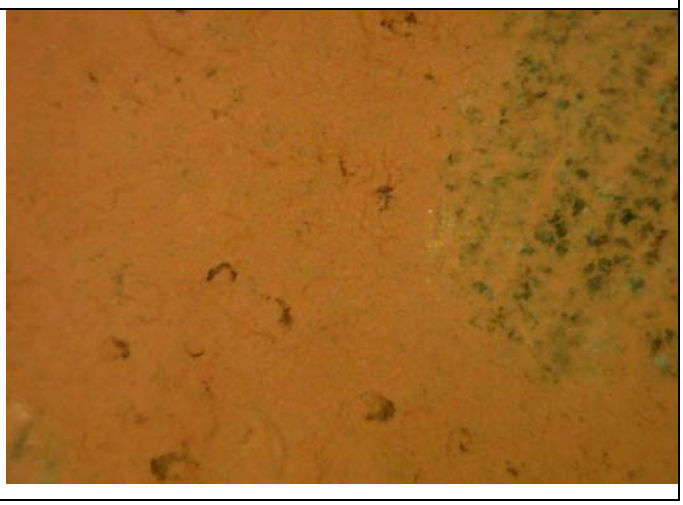
Впоследствии был проведены микроморфологические исследования бетона под поляризационным микроскопом. Были изучены куски бетона, подверженные воздействию чистой воды, водорастворимого органического вещества, растворов гуминовых кислот и фульвокислот.

Обсуждение результатов эксперимента

В табл.1 приведены мезоморофологические фотографии бетона в различных вариантах эксперимента (50-тикратное увеличение). Результаты морфологического изучения бетона явно свидетельствуют о его изменении во всех случаях. При этом морфология изменений несколько различна. В случае водорастворимого органического вещества преобладают выделения вторичного железа, в виде пятен гидроксидов, и меньшие по площади выделения вторичного кальцита. В случае раствора фульвокислот, наоборот, выделения кальцита доминируют над выделениями гидроксидов железа. В случае раствора гуминовых кислот присутствует только вторичный кальцит. Все это свидетельствует об интенсивном разрушении поверхности бетона, но, по-видимому, здесь действуют несколько различные механизмы, что подтверждается результатами аналитических работ.

Аналитическая характеристика растворов гуминовых веществ до и после эксперимента, приведенная на диаграммах (рис. 4-7), позволяет на количественном уровне оценить интенсивность процессов разрушения бетона в различных вариантах эксперимента.

Таблица 1. Морфологические изменения бетона под воздействием гуминовых веществ

Исходный бетон в дистиллированной воде – серого цвета, без видимых морфологических нарушений	ВОВ – обильное ожелезнение в виде небольших пятен с небольшими участками вторичного кальцита, желтого цвета
	
ФК – обильные выделения вторичного кальцита оранжево-желтого цвета в виде прожилок, присутствуют выделения вторичного железа (в поре)	ГК – сплошные выделения очень мелкозернистого кальцита по всей поверхности
	

pH среды (рис. 4) всех изученных растворов увеличивается, причем в случае ФК и ВОВ это увеличение значительно выше, чем в случае ГК. Это связано с различной способностью растворов гуминовых веществ связывать кальций, а также с тем, что ФК и ВОВ приводят к интенсивному высвобождению кальция из твердой фазы бетона. Можно заключить, что в случае ФК и ВОВ процессы разрушения бетона происходят интенсивнее, чем в случае растворов ГК.

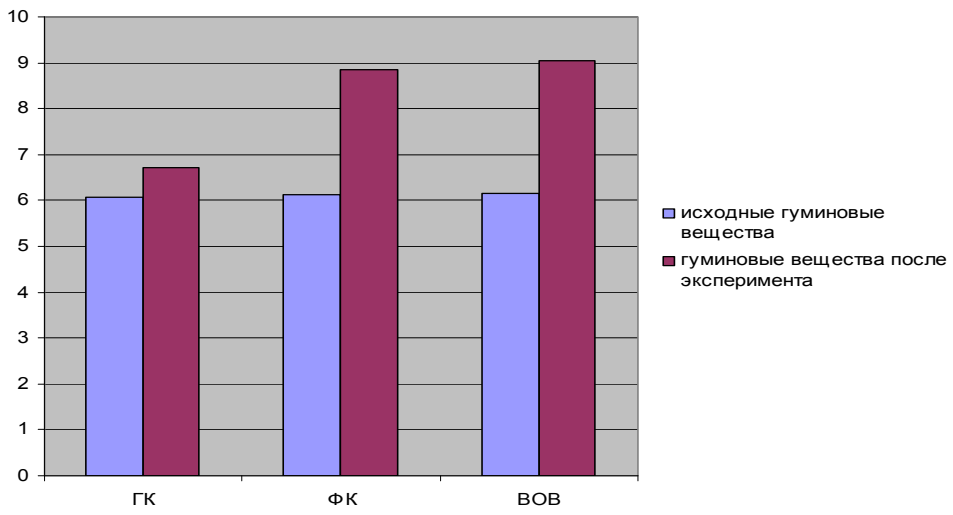


Рисунок 4. pH растворов гуминовых веществ

По содержанию углерода органических соединений (рис. 5) до и после эксперимента различия наблюдаются только для ВОВ. Содержание углерода в вариантах ГК и ФК остается неизменным. По всей вероятности, ГК и ФК не разрушаются в ходе эксперимента, в то время как ВОВ интенсивно разлагается, что очень характерно именно для этой фракции органического вещества, известной как легкоразлагаемая и легкоминерализуемая.

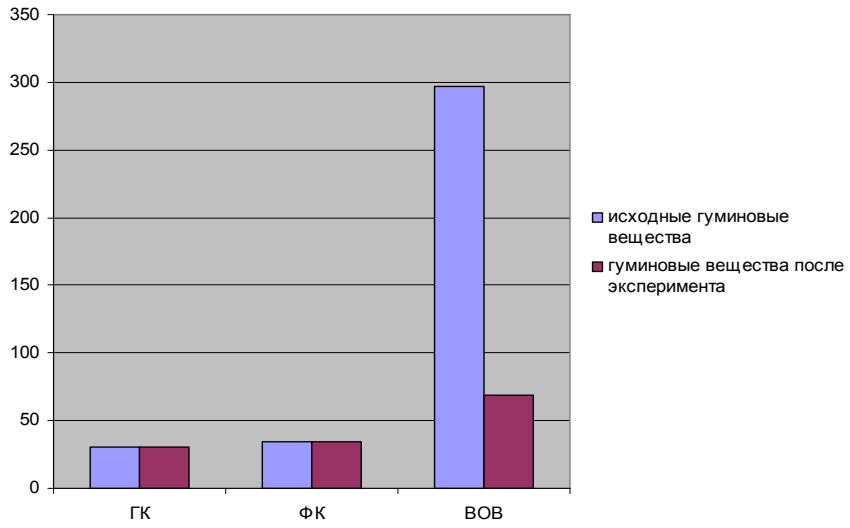


Рисунок 5. Содержание углерода органических соединений (Сорг) в мг/л до и после эксперимента

Коэффициенты цветности растворов гуминовых веществ (рис. 6) косвенно свидетельствуют о соотношении ароматических и алифатических фрагментов в молекулах. Чем выше этот коэффициент, тем меньше в молекулах ароматических фрагментов. В ходе эксперимента произошло существенное снижение коэффициента цветности в случаях ГК и ВОВ, что позволяет сделать вывод о том, что часть периферических алифатических и карбоксильных фрагментов гуминовых веществ либо сорбировалась на поверхности бетона, либо разложилась, за счет чего в растворе повысилась (относительно) концентрация ароматических компонентов. Уменьшение коэффициента цветности свидетельствует о взаимодействии гуминовых веществ с минеральной составляющей. В нашем случае с бетоном.

Содержание кальция (рис. 7) оказалось максимальным в случае ФК, меньшим в случае ВОВ и совсем низким в случае ГК. Следовательно, в этом ряду уменьшается интенсивность разрушения бетона.

Результаты микроморфологического исследования бетонов приведены на рис. 8-9. Микроморфологические исследования показали сильное изменение поверхности бетона под воздействием фульвокислот и водорастворимого органического вещества, выражающееся в декарбонатизации и накоплении гидроксидов железа на поверхности.

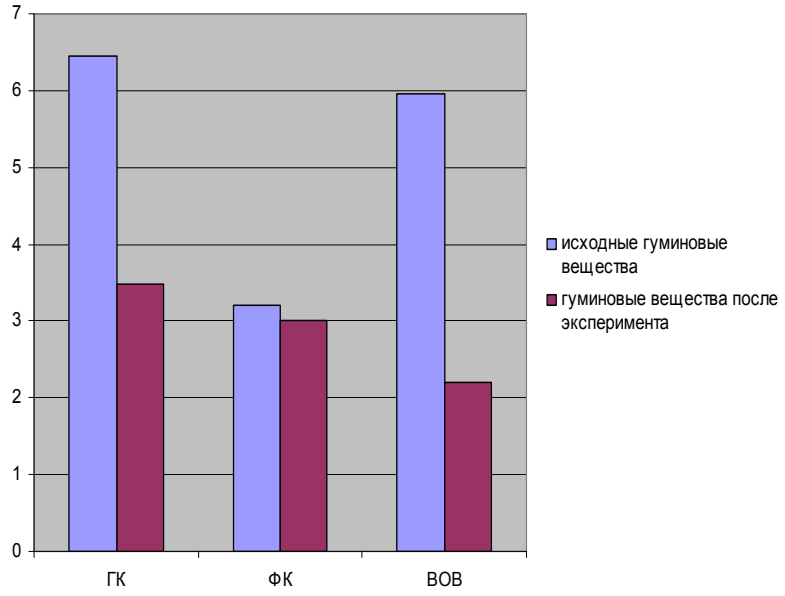


Рисунок 6. Коэффициенты цветности гуминовых веществ до и после эксперимента

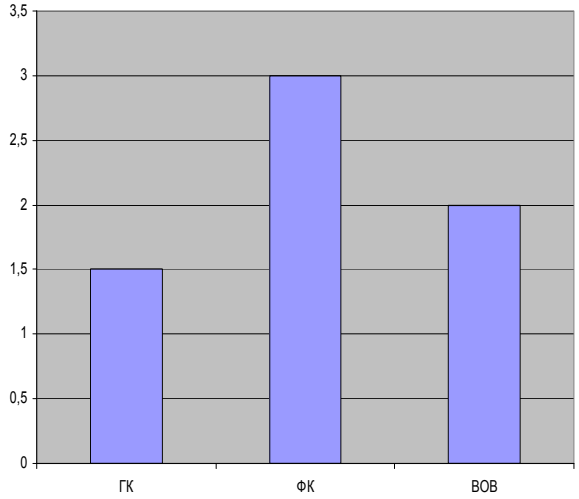


Рисунок 7. Содержание кальция в растворах гуминовых веществ после эксперимента, мг/л

Этот процесс выражен в меньшей степени под воздействием гуминовых кислот. Воздействие чистой дистиллированной воды в течение месяца не приводит к разрушению бетона. Таким образом, дополнительные микроморфологические исследования подтвердили результаты ранее проведенных мезоморфологических и химико-аналитических исследований и подтвердили наличие процессов разрушения бетонов.

В существующих нормативных документах (СНиП 2.03.11-85, РВСН 20-01-2006) даны оценки степени агрессивности грунтов и воды, содержащих сульфаты, хлориды (для грунтов), углекислоту, магнезиальные и аммонийные соли и т.д. (для воды), по отношению к бетону. Но для гуминовых веществ, которые могут встречаться не только в поверхностном слое, но и в грунтах на глубинах в несколько десятков метров, таких оценок нет. Поэтому, нами была предпринята попытка дать оценку степени агрессивности грунтов, содержащих гуминовые вещества, по отношению к бетону.

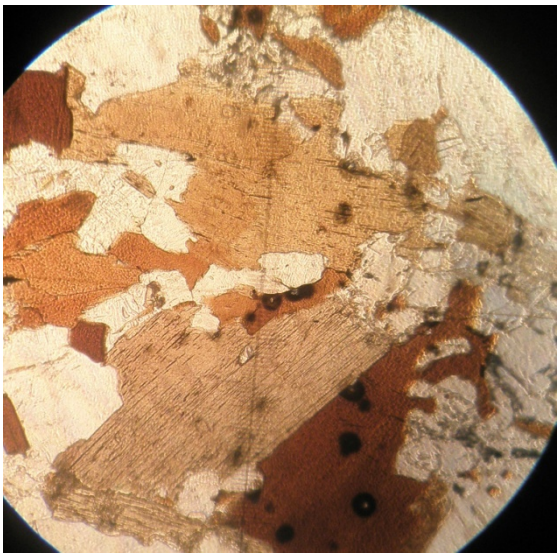


Рисунок 8. Исходная минеральная масса бетона

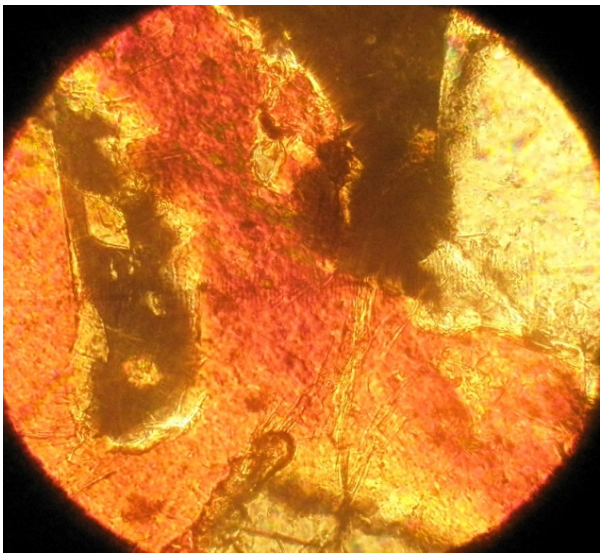


Рисунок 9. Ожелезнение бетона под воздействием фульвокислот

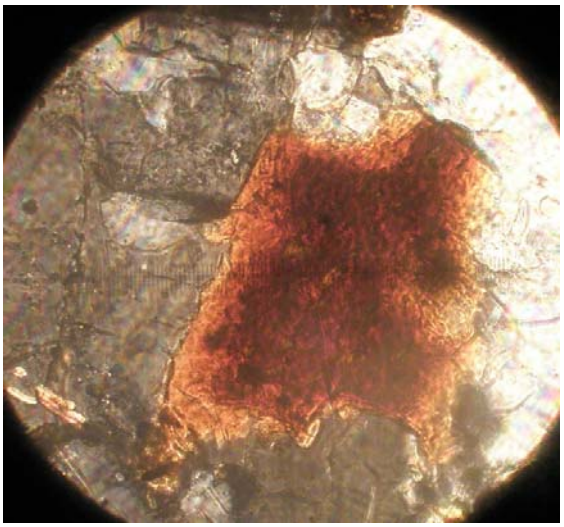


Рисунок 10. Окисление и ожелезнение бетона под воздействием гуминовых кислот

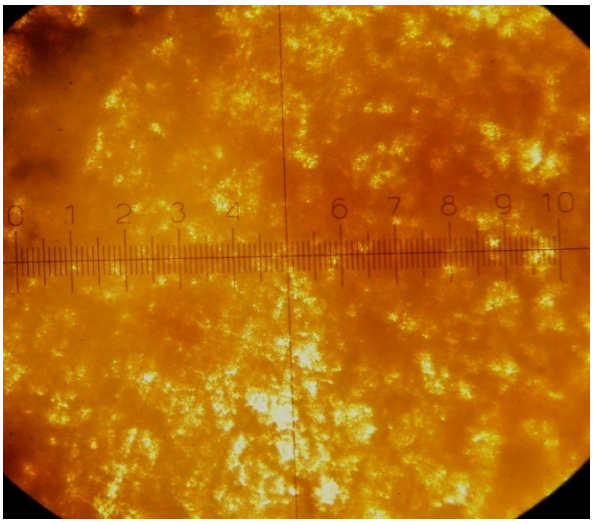


Рисунок 11. Ожелезнение поверхности бетона под воздействием водорастворимого органического вещества

В поставленном эксперименте во всех случаях наблюдается образование налета или корочки, состоящего из микрозернистого кальцита, гидроксидов железа и гумусовых кислот. Можно уверенно свидетельствовать о том, что толщина этого слоя более 0,1 мм. Эксперимент продолжался в течение одного месяца, поэтому можно прогнозировать, что в течение более длительного времени мощность корочки может увеличиться. Но, возможно, что это повреждение в виде корки будет блокировать процессы дальнейшего разрушения, поскольку поры бетона забиваются более тонкодисперсным веществом и в связи с этим становятся менее доступными для гуминовых веществ, существующих в экспериментальном растворе. Это следует учитывать, если отсутствует движение воды (застойные зоны). В случае движения воды в подземном пространстве картина может быть обратной, т.е. интенсивность разрушения бетона может быть выше.

В области наклонных тоннелей грунты, примыкающие непосредственно к бетонным тюбингам, часто имеют повышенную влажность за счёт просачивающейся влаги с верхних горизонтов или влаги горизонтов, которые наклонный тоннель пересекает. Таким образом, непосредственно у поверхности бетона может происходить движение воды, поток которой вымывает продукты коррозии и приносит свежие растворы гуминовых веществ.

Полученные экспериментальные данные позволили определить, что интенсивность разрушения поверхности бетона под воздействием гуминовых веществ, отобранных из заторфованного грунта, составляет более 0,1 мм в месяц, или более 1,2 мм в год. Из табл. 5.2 РВСН 20-01-06 (Санкт-Петербург) следует, что такая среда оценивается как сильноагрессивная по отношению к бетонным конструкциям. Проба грунта, из которой были выделены гуминовые вещества для эксперимента, имела показатель (Сгк +Сфк)/Сорг=53,6. Этот показатель характеризует степень агрессивности гуминового вещества по отношению к минеральным веществам. Таким образом, можно принять, что при значениях (Сгк +Сфк)/Сорг > 50 степень агрессивности грунта следует признать *сильной.* По аналогии с табл. 5.2 РВСН 20-01-06 (Санкт-Петербург) слабая степень агрессивности характеризуется значением (Сгк +Сфк)/Сорг< 20.

Выводы по результатам эксперимента

1. Поверхность бетона разрушается под воздействием фульвокислот, водорастворимого органического вещества и гуминовых кислот, что заметно уже при морфологическом изучении. Среди продуктов разрушения встречается либо только вторичный кальцит (в случае гуминовых веществ), либо вторичный кальцит с гидроксидами железа (в случае фульвокислот и водорастворимых органических веществ).

2. Аналитические исследования показали, что разрушение поверхности бетона максимальны в случае фульвокислот и водорастворимого органического вещества. В случае ГК и ФК, по-видимому, имеют место только химические механизмы разрушения бетона, в то время как, в случае ВОВ, в разрушении бетона могут принимать участие и микробиодеструкторы.

3. Микроморфологические исследования показали сильное изменение поверхности бетона под воздействием фульвокислот и водорастворимого органического вещества, выражающееся в декарбонатизации и накоплении гидроксидов железа на поверхности. Этот процесс выражен в меньшей степени под воздействием гуминовых кислот. Воздействие чистой дистиллированной воды в течение месяца не приводит к разрушению бетона.

Оценка степени агрессивности микробиоты и гуминовых веществ грунтов по отношению к бетону

В существующих нормативных документах отсутствует оценка степени агрессивности микробиоты и гуминовых веществ грунтов по отношению к бетону и другим строительным материалам. Сложность таких оценок обусловлена тем, что агрессивность микробиоты подземного пространства зависит не только от количества и видового состава биодеструкторов, но и от температуры, влажности, аэрации, наличия или отсутствия органических веществ в грунте, антропогенных факторов и т.п. Большое разнообразие микроорганизмов в грунте и их способность быстро адаптироваться к меняющимся условиям среды делают количественные оценки микробиоты, с точки зрения опасности для материалов, практически неразрешимой задачей. Но для принятия технических решений по защите подземных сооружений от агрессивных воздействий подземной среды такая оценка необходима. В этой связи, мы вынуждены опираться на экспертные оценки специалистов, обладающих достаточным опытом работы в области биоповреждения строительных материалов. При проведении таких оценок необходимо учитывать следующие факторы, которые определяются в пробах грунта:

- численность колониеобразующих единиц (КОЕ/г) микроскопических грибов (микромицетов) – известных биодеструкторов;
- состав и численность бактерий (физиологические группы и количество клеток на 1 грамм грунта);
- доминирование в микробном сообществе активных биодеструкторов среди микромицетов и бактерий;
- базальное дыхание — количество углекислого газа, выделяемого грунтом за счет метаболизма микроорганизмов при температуре 22^0С и оптимальной влажности (характеризует общую биологическую активность грунта);
- количество суммарного микробного белка (СБ), определяемого по методу Дж. Бредфорда. Величина СБ складывается из суммарного значения белковых соединений живых и мертвых клеток микробиоты ($Б_{жкв}$ и $Б_{мкл}$) и белка продуктов их жизнедеятельности ($Б_{пж}$) $СБ=Б_{жкл}+Б_{мкл}+Б_{пж}$.

Таким образом, оценка потенциальной опасности грунтов для бетонных конструкций складывается из совокупности показателей, которые определяются при проведении комплексного обследования и последующего лабораторного анализа образцов грунта. Приведенные выше показатели наиболее объективно характеризуют деструктивные возможности микробного сообщества. При этом определяющим фактором может стать соотношение различных групп микроорганизмов, которые тесно взаимодействуют друг с другом и реагируют на изменение условий среды резкими колебаниями численности. Количественное содержание микроорганизмов в грунтах может достигать колоссальных значений, что приводит к существенному изменению физико-химических характеристик грунта. Особенно важно учитывать деструктивные свойства микроорганизмов в отношении бетона и других строительных материалов.

Хорошо известно, что среди бактерий наибольшую опасность для бетонных конструкций представляют хемолитотрофные бактерии (нитрифицирующие, тионовые и железобактерии), а также актиномицеты. Среди грибов наибольшей деструктивной активностью обладают виды родов *Aspergillus, Penicillium* и *Fusarium.* Резкое возрастание численности какой-либо группы биодеструкторов способно привести к заметному повышению агрессивности (потенциальной опасности) грунтов в отношении бетона. Определение точных количественных характеристик микробиоты, отражающих степень ее агрессивности в отношении бетонных конструкций, чрезвычайно сложная задача, поскольку подобные оценки опираются на совокупность данных о составе и структуре микробного сообщества и прогнозирование ситуации, которая может измениться с началом строительства объекта.

Важно учитывать тот факт, что при начале строительных работ, связанных с введением в грунт бетонных конструкций, могут резко измениться условия аэрации и поступления влаги в грунт. Эти факторы во многом определяют активность биодеструкторов и могут стать причиной резкого возрастания их численности. Несмотря на сложность мониторинга микробиоты в подземном пространстве, по мере накопления данных, получаемых в ходе обследования ряда объектов (грунты в городской среде), уже сейчас предварительно можно разделить грунты в городской среде по степени биологической агрессивности в отношении бетона.

<u>Сильная степень биологической агрессивности</u> присваивалась грунтам при высоких показателях СБ и численности микроорганизмов (для микромицетов-биодеструкторов свыше 1500 КОЕ на 1 грамм грунта, для бактерий – свыше 10^6 клеток бактерий на 1 грамм грунта) и (или) при резком возрастании значений одного из перечисленных выше показателей при явном доминировании биодеструкторов.

<u>Средняя степень агрессивности</u> присваивалась грунтам при незначительных повышениях значений всех перечисленных показателей или при повышенном уровне некоторых из них: для микромицетов-биодеструкторов 1000-1500 КОЕ на 1 грамм грунта, для бактерий – 10^5 — 10^6 клеток бактерий на 1 грамм грунта.

Слабая степень агрессивности присваивалась грунтам при низких или умеренных значениях перечисленных показателей (для микромицетов – менее 1000 КОЕ/г и бактерий менее 10^5).

Для оценки степени агрессивности органического (гуминового) вещества среды целесообразно учитывать показатель агрессивности органического вещества к минеральным веществам (Сгк +Сфк)/Сорг.

Экспериментальные исследования разрушения бетона под действием гуминовых веществ показало, что при превышении этого показателя значения 50, разрушение бетона может иметь скорость более 1,2 мм в год, что по аналогии с табл.5.2. РВСН 20-01-2006 (Санкт-Петербург) характеризует среду как сильноагрессивную. По аналогии с вышеуказанной таблицей было принято:

Сильная степень агрессивности присваивается грунтам, имеющим значение (Сгк +Сфк)/Сорг > 50
Средняя степень агрессивности присваивается грунтам, имеющим значение 20 >(Сгк +Сфк)/Сорг <50
Слабая степень агрессивности присваивается грунтам имеющим значение (Сгк +Сфк)/Сорг < 20

Такой подход дал возможность оценить степень агрессивности микробиоты и гуминовых веществ к бетону в образцах грунтов, отобранных в местах будущих наклонных ходов станций метро проектируемой ветки (табл. 2).

Таблица 2. Степень агрессивности микробиоты и гуминовых веществ грунтов по отношению к бетону в отобранных пробах

Глубина (м)	Скважина № 1		Скважина №2		Скважина №3		Скважина №4		Скважина №5	
	Микробиота	Гуминовое вещество	Микробиота	Гуминовое вещество	Микробиота	Гуминовое вещество	Микробиота	Гуминовое вещество	Микробиота	Гуминовое вещество
0,5	Средняя	Слабая	Средняя	Слабая	Сильная	Слабая	Средняя	Средняя	Сильная	Слабая
1,0	Средняя	Слабая	Сильная	Слабая	Средняя	Слабая	Средняя	Средняя	Сильная	Слабая
2,0	Средняя	Слабая	Средняя	Слабая	Средняя	Слабая	Средняя	Слабая	Средняя	Средняя
3,0	Сильная	Сильная	Слабая	Слабая	Средняя	Слабая	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя
4,0	Средняя	Средняя	Средняя	Слабая	Сильная	Средняя	Средняя	Слабая	Средняя	Слабая
5,0	Средняя	Слабая	Средняя	Слабая	Сильная	Средняя	Средняя	Слабая	Слабая	Слабая
6,0	Средняя	Слабая	Слабая	Слабая	Средняя	Средняя	Средняя	Слабая	Слабая	Средняя
7,0	Средняя	Слабая	Слабая	Слабая	Слабая	Слабая	Слабая	Слабая	Средняя	Слабая

Из таблицы видно, что в скважине №1 и микробиота, и гуминовые вещества имеют сильную степень агрессивности на глубине 3 м. Данные подтверждаются тем, что этот слой характеризовался сильной заторфованностью и высокой обводнённостью. В скважине №3 было обнаружено большое количество микробиодеструкторов на глубинах 4-5 м. Агрессивность гуминовых веществ характеризовалась в этих пробах средней степенью.

Степень агрессивности грунтов по отношению к бетону может быть весьма неоднородна по глубине и, хотя явно прослеживается тенденция к ослаблению агрессивности с увеличением глубины отбора образцов, на средних и глубоких уровнях опасность со стороны микробиоты и гуминовых веществ может иметь значимые значения, которые необходимо учитывать при проектировании подземных сооружений.

Литература

1. Орлов Д.С. Химия почв. М, 2005.
2. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование: методы и результаты изучения. Л.: Наука. 1980.
3. Попов А.И. Гуминовые вещества. СПб. СПбГУ. 2004.
4. Комохов П.Г. «Экстремальное развитие внутренней органической биокоррозии бетона инженерных сооружений глубокого заложения и её опасность». Биоповреждения в строительстве. Материалы международной научно-технической конференции. Саранск, Морд.ГУ, 2006.

**Сергей Александрович Старцев, Санкт-Петербург*

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

Климатические системы: моделирование процессов влияния воздуха на организм человека

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

В атмосферном воздухе, который необходим для разбавления различных вредностей в воздухе помещения, могут находиться различные химические соединения с различными концентрациями. Кроме этого, активная производственная деятельность человека (различные выбросы в воду и атмосферу) ежегодно повышает эти концентрации, т.е. они вовлекаются в круговорот в биосфере. Следовательно, из года в год увеличивается ежегодная доза биогенных элементов, которые поступают в организм человека с водой, пищей и воздухом.

Поэтому деятельность проектировщика, на наш взгляд, должна быть связана с вопросами оценки воздействия химических факторов окружающей среды на здоровье населения. Он, используя средство достижения цели (климатическое оборудование), должен создать климатическую систему (назовем ее биохимический завод) таким образом, чтобы эта климатическая система поддерживала в помещении концентрацию исходных химических соединений на таком уровне, чтобы организм пользователя этих систем функционировал в зоне оптимума.

Рассмотрим вопросы оценки воздействия химических факторов окружающей среды на здоровье конечного пользователя климатических систем.

Например [1], влияние повышения концентрации неорганических соединений мышьяка на состояние здоровья схематично можно изобразить следующим образом: рис. 1. Различные эффекты от концентрации химических соединений приведены в таблице 3.

Оценку риска для здоровья в экологической эпидемиологии рассматривают как

Риск = Опасность × Экспозиция

Опасность – это способность химического соединения [2] наносить вред организму, или относительная токсичность вещества или смеси веществ. Идентификация опасности – процесс установления причинной связи между экспозицией химического вещества и частотой развития и/или тяжестью неблагоприятного влияния на здоровье человека.

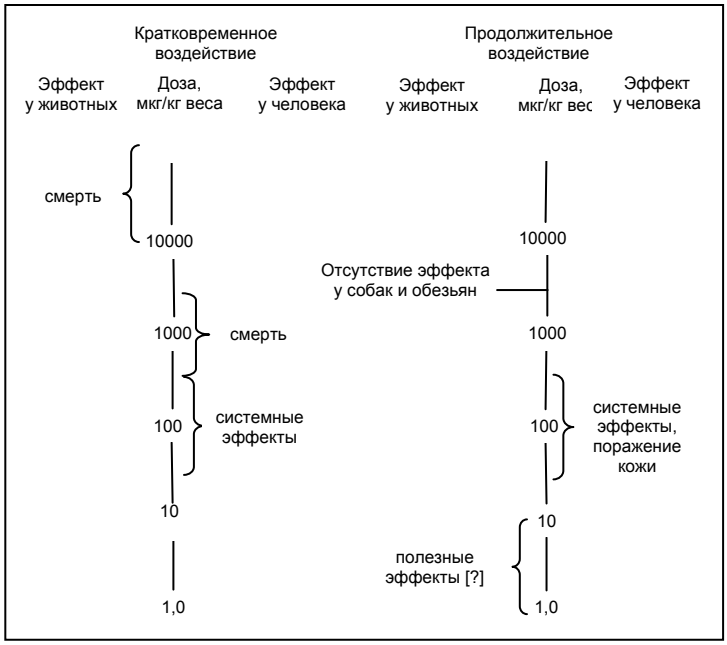


Рисунок 1. Влияние неорганических соединений мышьяка на состояние здоровья

Отсюда можно сделать вывод, что дальнейшее загрязнение окружающей среды будет приводить к увеличению поступления в организм человека ежегодных доз биогенных элементов, на что организм будет соответствующим образом реагировать. При этом, чем выше будет ежегодная доза, тем серьезней будет ответ организма. И этот процесс [1] будет происходить в полном соответствии с зависимостью доза-ответ для канцерогенов с беспороговым механизмом действия (рис. 2). Другими словами, повышение концентрации биогенных элементов в организме человека может переводить их из разряда необходимых для жизнедеятельности в разряд опасных.

Попытаемся смоделировать эти процессы, используя метод кристаллизации в гелях. Для этого учтем, что элементами оценки риска являются звенья риска от источника до получателя (рис. 3), тогда предложенную нами модель образования и роста кристаллов в гелях [3] можно интерпретировать следующим образом:

1) гель как внутренняя среда;
2) раствор хлористого кальция над гелем как внешняя среда;
3) источник ионов Ca^{2+} – раствор хлористого кальция;
4) транспортом в растворе мы пренебрегаем по условию задачи;
5) контактом является граница раздела гель-раствор;
6) поступление и абсорбцию не рассматриваем, т.к. предполагаем, что процесс образования полостей в геле (эффект Ребиндера) проходит раньше, чем выпадение осадка;

7) транспортом во внутренней среде является диффузия;
8) эффектом при математическом моделировании будем считать выпадение осадка тартрата кальция в геле, а в реальном эксперименте это будут реальные кристаллы.

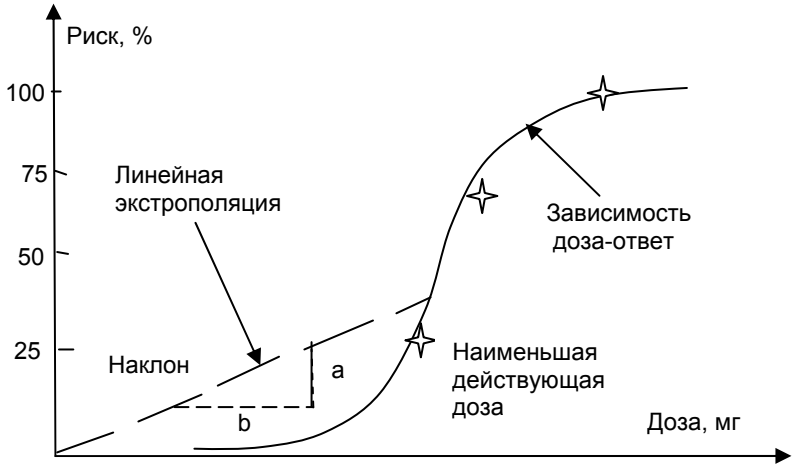


Рисунок 2. Зависимость доза – ответ для канцерогенов с беспороговым механизмом действия[1]

Рисунок 3. Звенья риска от источника до получателя

Следовательно, тогда мы можем несколько переформулировать нашу задачу, используя определение опасности. Нас будет интересовать установление причинной связи между экспозицией ионами Ca^{2+} геля, содержащего винную кислоту, и развитием в нем эффектов, связанных с образованием кристаллов тартрата кальция. Другими словами, мы попытаемся оценить риск образования и роста кристаллов тартрата кальция в геле и на основании этого попытаемся управлять этими рисками.

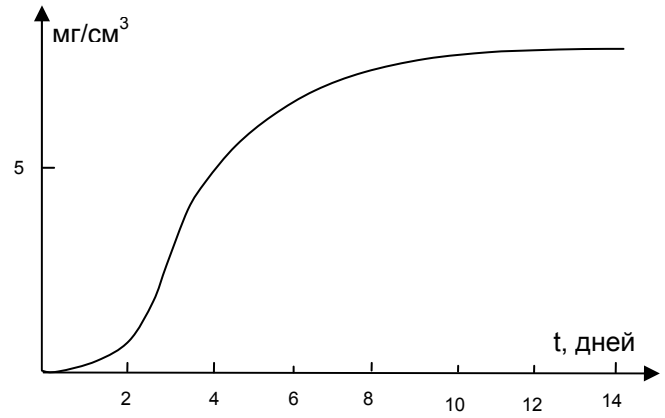


Рисунок 4. Расчетная зависимость массы выпавшего осадка МеА отнесенного к единице объема от времени. Объем слоя V = 2 см^3. Глубина залегания слоя в геле h = 15,22 см.

Ранее [3] мы определили зону активного роста через зависимость, представленную на рис. 4. Если мы количество выпавшего осадка на рис. 4 приведем к безразмерной величине, т.е. максимальное количество примем за 100%, тогда эта безразмерная величина будет показывать риск выпадения осадка тартрата кальция в геле, содержащем винную кислоту. Кроме этого, если учесть, что координата на соответствующей глубине в геле, время и концентрация ионов кальция связаны уравнением диффузии

$$\partial C_1 / \partial t = D_1 \cdot (\partial^2 C_1 / \partial x^2),$$

то время можно выразить через концентрацию $[Ca^{2+}]$. Тем самым мы перейдем из одной системы координат (количество осадка от координаты) к другой (риск от концентрации). Тогда, учитывая, что кривая, представленная на рис. 4, качественно не изменится, мы получим, что наша зависимость будет полностью соответствовать зависимости доза-ответ для канцерогенов с беспороговым механизмом действия, представленной на рис. 2.

Таким образом, механизм «эффект Ребиндера – зарождение кристаллов – рост кристаллов» можно отнести к беспороговому механизму действия [1] даже в отсутствие биологических процессов.

Процесс образования кристаллов в гелях происходит с существенным изменением кислотности среды, в которой они зарождаются [3], поэтому можно предположить, что образование патогенных биоминералов

[1] Механизм канцерогенного действия может быть связан как с прямым повреждением генома (генотоксические канцерогены), так и с его опосредованным повреждением (эпигенетические канцерогены). Предполагается, что действие генотоксических канцерогенов не имеет порога канцерогенного действия. Негенотоксические канцерогены могут обладать порогом вредного действия, ниже которого канцерогенного риска не возникает.

происходит по тому же принципу, и этот процесс легко может преодолевать буферную емкость системы, вызывая ацидоз.

Следовательно, для того чтобы управлять процессом зарождения кристаллов в гелях, нам необходимо установить зависимость зарождения кристаллов в гелях от кислотности среды.

В первой половине 80-х годов прошлого столетия в лаборатории голографической интерферометрии Сыктывкарского государственного университета при исследовании процессов зарождения и роста кристаллов в гелях было установлено, что при концентрации хлористого кальция в растворе над гелем 1 моль·л$^{-1}$ и при pH<1,3 кристаллы тартрата кальция в растворе над гелем растворяются. При 1,3≤pH≤1,5 кристаллы находятся в равновесии, поэтому они не растут, но и не растворяются. При pH>1,5 они активно растут. Следовательно, при изменении концентрации ионов водорода в интервале

$$\Delta[H^+] = 5\cdot10^{-2} - 3\cdot10^{-2} = 2\cdot10^{-2} \text{ моль}\cdot\text{л}^{-1} \quad (1)$$

кристалл в растворе находится в равновесии. При изменении концентрации ионов водорода возле точки равновесия на величину $\Delta[H^+] > 2\cdot10^{-2}$ моль·л$^{-1}$, т.е. от $[H^+] > 4\cdot10^{-2} + 1\cdot10^{-2} = 5\cdot10^{-2}$ моль·л$^{-1}$ и до $[H^+] < 4\cdot10^{-2} — 1\cdot10^{-2} = 3\cdot10^{-2}$ моль·л$^{-1}$, мы получаем два совершенно разных процесса: растворение и рост кристаллов в гелях.

Следует отметить, что организм человека допускает изменение кислотности крови при функционировании его в режиме нормы или в зоне оптимума в интервале от 7,35 ≤pH≤7,45, т.е.

$$\Delta[H^+] = 4{,}5\cdot10^{-8} - 3{,}55\cdot10^{-8} = 0{,}95\cdot10^{-8} \text{ моль}\cdot\text{л}^{-1}. \quad (2)$$

При изменении концентрации ионов водорода в крови, с переходом через оптимальную точку функционирования организма в режиме нормы (pH = 7,4), на величину $\Delta[H^+] > 0{,}95\cdot10^{-8}$ моль·л$^{-1}$, или от $[H^+] > 4\cdot10^{-8} + 0{,}5\cdot10^{-8} = 4{,}5\cdot10^{-8}$ моль·л$^{-1}$ до $[H^+] < 4\cdot10^{-8} — 0{,}45\cdot10^{-8} = 3{,}55\cdot10^{-8}$ моль·л$^{-1}$, алкалоз переходит в ацидоз.

Таким образом, получается, что организм человека как физическая система более чувствительна к изменению концентрации ионов водорода, чем система, в которой происходит образование или растворение кристаллов тартрата кальция на шесть порядков.

Влияние кислотности раствора над гелем на зарождение и рост кристаллов в геле

Из всего многообразия способов изменения кислотности кристаллогенетической среды [4], мы ограничимся двумя. В первом случае мы будем создавать в начальный момент времени в растворе над гелем кислотную среду с различными значениями pH без дальнейшего поддержания этих значений.

Во втором случае зафиксируем pH на определенном значении в кислотной области с последующим поддержанием этого значения. Через определенное время от начала эксперимента будем менять раствор над гелем на новый с той же концентрацией хлористого кальция, но только с поддержанием кислотности этого раствора уже в щелочной области.

1 способ. На застывший гель в семь пробирок заливался раствор хлористого кальция концентрацией 0,5 моль·л$^{-1}$. Кислотность раствора в каждой пробирке соответствовала следующим значениям:

pH	6,2	1.34	1.08	0.8	0.64	0.51	0.36

Это достигалось добавлением соляной кислоты в раствор хлористого кальция. После этого ни один параметр системы не изменялся от начала и до конца эксперимента. Продолжительность эксперимента составляла 68 суток.

Распределение кристаллов по столбу геля при различной кислотности раствора над гелем было аналогичным распределению кристаллов по столбу геля, представленному на рис. 5.

(Условия эксперимента:

1. Концентрация $CaCl_2$ пропитывающего раствора над гелем 1,0 моль·л$^{-1}$.
2. Время пропитки геля изменяется в пробирках слева направо 0, 1, 2, 4, 8 суток.
3. Время эксперимента 44 суток).

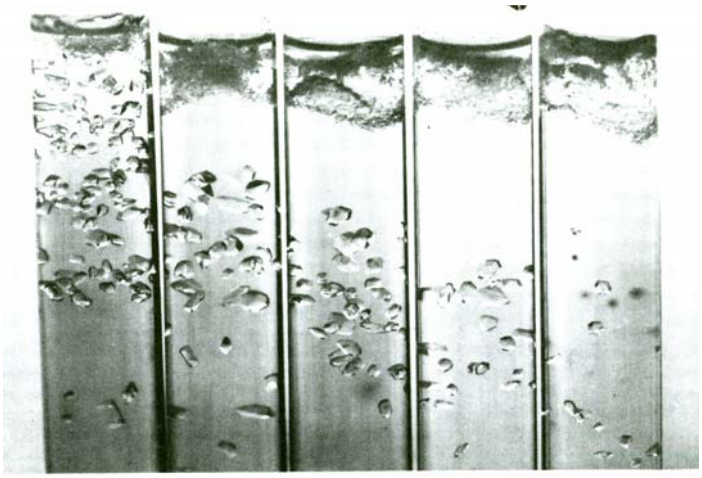


Рисунок 5. Фотографии распределения центров зарождения кристаллов по глубине в геле.

Рассмотрим полученные результаты. В пробирках с кислотностью раствора над гелем:

1. При pH=6,2 и pH= 1,34 образование кристаллов было аналогично левой крайней пробирке (рис. 5).
2. При pH=0,36 кристаллов не образовалось. Следовательно, при столь высоких концентрациях протонов не удается превысить равновесного значения pH в условиях данного эксперимента.
3. При pH=1,08, pH=0,8, pH=0,64 и pH=0,51 распределение кристаллов по столбу геля было аналогичным пробиркам № 2,3,4,5 (слева направо).

Если нулевую точку отсчета взять от границы раздела «гель-раствор», а глубину зарождения первого кристалла в граничном слое геля обозначить как h см (рис. 6), тогда можно построить зависимость глубины формирования граничного слоя первых кристаллов от pH раствора над гелем (рис. 7).

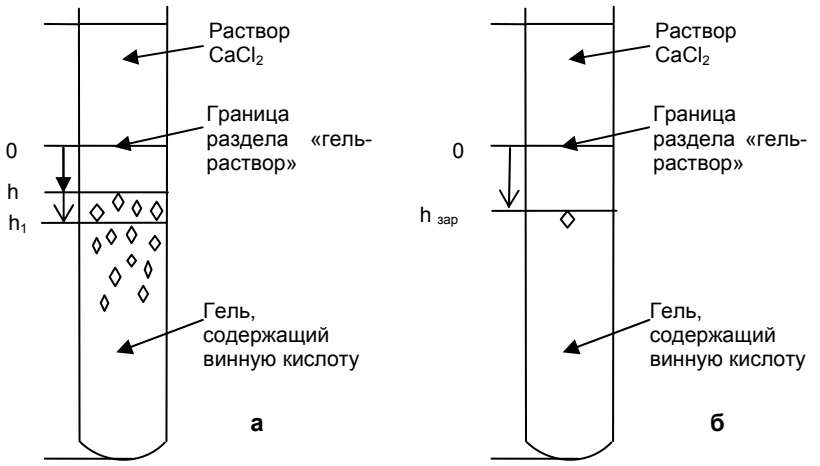


Рисунок 6. Пробирки с гелем I-образной формы, содержащие винную кислоту и раствор $CaCl_2$ над ним:
а) зарождение первых кристаллов по глубине;
б) зарождение первых кристаллов по времени

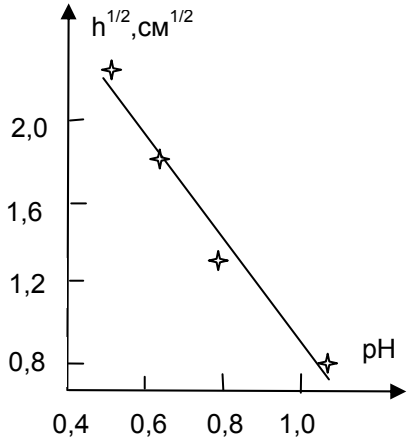


Рисунок 7. Зависимость глубины формирования граничного слоя первых кристаллов от pH раствора над гелем

Из приведенных данных видно, что полученная зависимость хорошо описывается уравнением вида:

$$h^{1/2} = a\cdot pH + b \quad (3),$$

где a, b – коэффициенты; a= (-2,6±0,3), b=(3,5±0,2), pH=-lg[H^+].

Определим, при какой кислотности раствора над гелем зарождение кристаллов в граничном слое будет на отметке h=0.

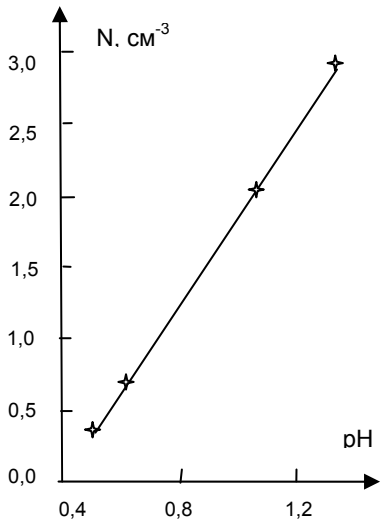


Рисунок 8. Зависимость плотности центров зарождения кристаллов в граничном слое Δh от кислотности раствора над гелем, при концентрации хлористого кальция в растворе 0,5 моль·л$^{-1}$

$$pH = — b/ a = 3,5/2,6 =1,35 \quad (4)$$

Следовательно, эта характерная точка на графике (pH=1,35) означает, что граница зарождения кристаллов, определяющих граничный слой в геле, при данных концентрациях винной кислоты и хлористого кальция будет на глубине h=0. Начиная с pH<1,35, чем меньше будет начальное значение кислотности раствора над гелем, тем глубже по столбу геля будет формироваться граничный слой.

Изменение кислотности раствора над гелем влияет не только на глубину формирования граничного слоя зарождения кристаллов, но и на плотность центров зарождения. На рис. 8 приведена зависимость плотности центров зарождения кристаллов в граничном слое $\Delta h = h_1 - h$ (рис.6) от кислотности раствора над гелем. При обработке экспериментальных данных вырезались слои Δh = 4÷7 мм.

Результаты показывают, что плотность центров зарождения кристаллов N в граничном слое линейно зависит от начальной кислотности верхнего раствора.

$$N = к \cdot pH + N_0 \quad (5)$$

где к – коэффициент; к=(3,09 ± 0,06), N_0=(- 1,27 ± 0,06) см$^{-3}$.

Определим, при какой кислотности раствора над гелем плотность центров зарождения будет нулевой, т.е. N = 0.

$$pH = — N_0/к = 1,27/3,09 = 0,4 \quad (6)$$

Это соответствует экспериментальным данным: в пробирке с кислотностью раствора над гелем при pH=0,36 кристаллов не образовалось.

Таким образом, подавление центров зарождения кристаллов происходит в интервале кислотности раствора над гелем 0,4 ≤pH≤1,35. При условии pH<0,4 центры зарождения кристаллов в геле будут отсутствовать.

Далее определим количество центров зарождения кристаллов при кислотности раствора над гелем pH=1,35.

$$N = к \cdot pH + N_0 = 3,09 \cdot 1,35 – 1,27 = 2,9 \quad (7)$$

Таким образом, мы получили, что при pH = 1,35 и концентрации хлористого кальция 0,5 моль·л$^{-1}$ плотность центров зарождения кристаллов в граничном слое получается фиксированной и составляет в данном случае N=2, 9 см$^{-3}$. Отсюда можно сделать очень интересный вывод: количество центров зарождения кристаллов в граничном слое геля носит не вероятностный характер, а зависит, по всей видимости, от начальных параметров исходных реагентов и связан с распределением пор по размеру (эффект Ребиндера). Те поры, размер которых будет больше критического ℓ_c, неустойчивы и самопроизвольно увеличивают свои размеры, что приводит к образованию макроскопической трещины и разрушению геля.

Учитывая что:

1) поскольку эффективный диаметр пор в гелях составляет порядка 5-16 нм, маловероятно, что в такой маленькой поре смог бы зародиться кристалл;
2) кристалл растет в полостях в растворе;
3) кристалл возмущает среду на малых расстояниях, сравнимых с его размерами, и практически не оказывает влияния на соседей;
4) выращенные кристаллы в гелях могут быть значительно чище исходных реагентов;
5) к настоящему времени в гелях были выращены самые совершенные кристаллы, т.е. при росте кристалл не испытывает сопротивления со стороны геля – по всей видимости, полость по мере роста кристалла самопроизвольно увеличивает свои размеры быстрее, чем сам кристалл;

можно предположить, что плотность центров зарождения кристаллов определяется плотностью образующихся полостей (эффект Ребиндера), и эта плотность зависит от концентрации исходных реагентов, как в самом геле, так и в растворе над гелем.

Кроме перечисленных эффектов следует обратить внимание и на изменение средней массы одного кристалла в пробирке.

При увеличении кислотности раствора над гелем количество центров зарождения уменьшается, а средняя масса одного кристалла в пробирке, соответственно, увеличивается (табл. 1), т.е. за счет подавления центров зарождения образовавшимся кристаллам достается больше кристаллообразующего вещества.

Таблица 1

pH	6,2	1,3	1,08	0,8	0,64	0,51
Средняя масса одного кристалла	28,9	46,5	39,4	40,6	46,7	93,3

Можно предположить, что этот же механизм работает и в организме человека. Тогда центр зарождения патогенных биоминералов, т.е. центр образования органоминерального агрегата, где органическая составляющая не является пассивной, а активно участвует в появлении той или иной минеральной компоненты, может в то же время являться центром различных генетических повреждений.

2 способ. Мы установили, что в пробирке с кислотностью раствора над гелем pH = 0,34 кристаллы не зародились. Это значение кислотности выбрано исходя из условия гарантированного подавления центров зарождения кристаллов во время пропитки. Тогда мы можем при помощи раствора соляной кислоты в течение нескольких дней пропитывать гель раствором хлористого кальция, поддерживая все эти дни кислотность на уровне pH = 0,34. Назовем этот процесс пропиткой. Во время пропитки кристаллы в геле не зарождаются. Далее меняем этот раствор над гелем на новый раствор с той же концентрацией хлористого кальция, как в пропитывающем растворе, но с кислотностью pH = 10±1. Данное значение кислотности будем поддерживать в течение всего времени роста кристаллов, используя раствор NaOH. Варьировать будем только время пропитки. Результаты эксперимента представлены на рис. 5 и рис. 9 с концентрацией хлористого кальция в растворе над гелем 1,0 моль·л$^{-1}$ и 0,5 моль·л$^{-1}$ соответственно.

На фотографиях видно, что с увеличением времени пропитки граница зарождения кристаллов, которые формируют граничный слой, смещается вглубь геля, а количество центров зарождения уменьшается.

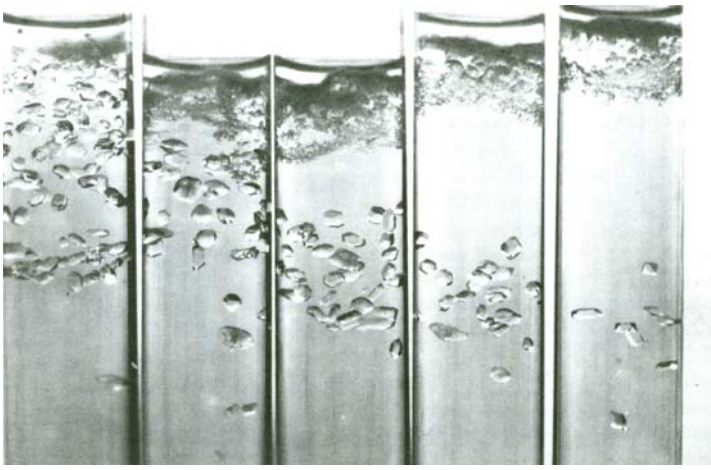


Рисунок 9. Фотографии распределения центров зарождения кристаллов по глубине в геле. Условия эксперимента:

1) **концентрация $CaCl_2$ пропитывающего раствора над гелем 0,5 моль·л$^{-1}$;**
2) **время пропитки геля изменяется в пробирках слева направо 0, 1, 2, 4, 8 суток;**
3) **время эксперимента 44 суток**

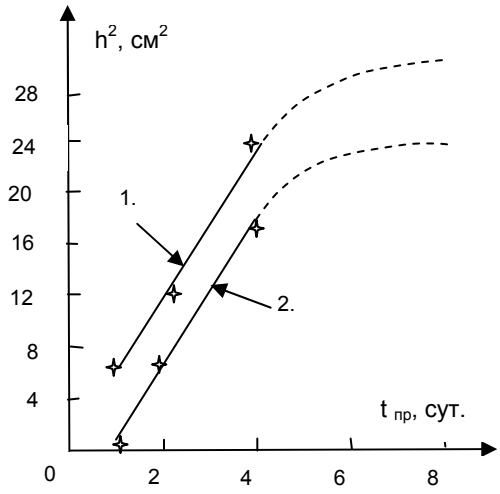


Рисунок 10. Зависимость положения граничного слоя кристаллов от времени пропитки. Кривая 1: концентрация $CaCl_2$ пропитывающего раствора над гелем 1,0 моль·л$^{-1}$. Кривая 2: концентрация $CaCl_2$ пропитывающего раствора над гелем 0,5 моль·л$^{-1}$.

На рис. 10 показана зависимость координаты (h) граничного слоя зарождения кристаллов от времени пропитки ($t_{пр}$). Эта зависимость хорошо описывается функцией вида:

$$h^2 = d\cdot t_{пр} + p \quad (8),$$

где d, p – коэффициенты.

При концентрации [$CaCl_2$]=1.0 моль·л$^{-1}$ d= (5.62 ±0.1), p = (0.5±0.3).

При концентрации [$CaCl_2$]=0,5 моль·л$^{-1}$ d= (5.73 ±0.5), p = (-5±1).

Следует отметить, что данная зависимость описывает зарождение только при времени пропитки меньше 5 суток. При более длительной пропитке наступает насыщение, и глубина зарождения не зависит от времени пропитки. Обращает на себя внимание тот факт, что при концентрации раствора хлористого кальция 1,0 моль·л$^{-1}$ граница зарождения кристаллов находится в более глубоких слоях геля, чем при концентрации 0,5 моль·л$^{-1}$. При этом графики зависимостей положения граничного слоя кристаллов от времени пропитки практически параллельны.

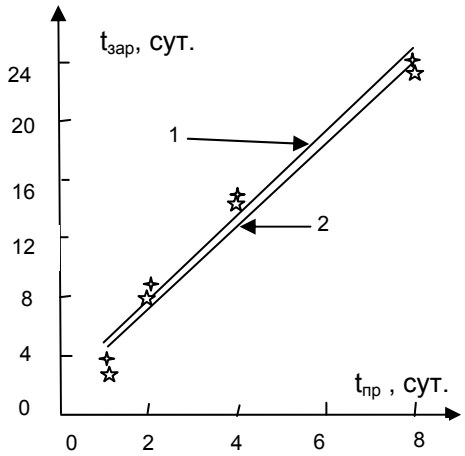


Рисунок 11. Зависимость времени зарождения первых кристаллов от времени пропитки. Прямая 1: концентрация $CaCl_2$ пропитывающего и основного растворов над гелем 1,0 моль·л$^{-1}$. Прямая 2: концентрация $CaCl_2$ пропитывающего и основного растворов над гелем 0,5 моль·л$^{-1}$

Эксперименты с пропиткой позволяют получить зависимость времени зарождения первых кристаллов ($t_{зар}$) от времени пропитки ($t_{пр}$). Под временем зарождения будем понимать промежуток времени от момента замены пропитывающего раствора на основной раствор и до появления визуально наблюдаемого первого кристалла. Полученная зависимость представлена на рис. 11. Видно, что зависимость носит линейный характер:

$$t_{зар} = n\cdot t_{пр} + t_0 \quad (9),$$

где n, t_0 – коэффициенты.

При концентрации [$CaCl_2$]=1.0 моль·л$^{-1}$ n= (2.8 ±0.3), t_0 = (1.8±0.1).

При концентрации [$CaCl_2$]=0,5 моль·л$^{-1}$ n= (2.7 ±0.3), t_0 = (1.7±0.1).

Кроме того, время зарождения одинаково для различных концентраций раствора $CaCl_2$ над гелем.

Динамика появления первых кристаллов несколько отличается от установившегося к концу эксперимента конечного результата.

Этот экспериментальный факт отражен на графике рис. 12. Эта зависимость хорошо описывается функцией вида:

$$h^2_{зар} = d_1 \cdot t_{пр} + p_1 \quad (10),$$

где $h_{зар}$ – глубина зарождения первого кристалла по времени;

$t_{пр}$ – время пропитки;

d_1, p_1 – коэффициенты.

При концентрации $CaCl_2$ пропитывающего и основного растворов над гелем 1,0 моль·л$^{-1}$ d_1 = (14,4 ± 0,9), p_1 = (-3 ± 4).

При концентрации $CaCl_2$ пропитывающего и основного растворов над гелем 0,5 моль·л$^{-1}$ d_1 = (10,0± 1,0), p_1 = (-8 ± 5).

Как видно из приведенных данных, первые по времени кристаллы зарождаются несколько глубже координаты формирования граничного слоя (см. рис. 10), а тангенсы углов наклона зависят от концентрации основного раствора. Следовательно, необходимо различать кристаллы первые по времени появления и первые по глубине, после того как эксперимент закончен, т.е. зарождение кристаллов различается по пространственно — временным параметрам.

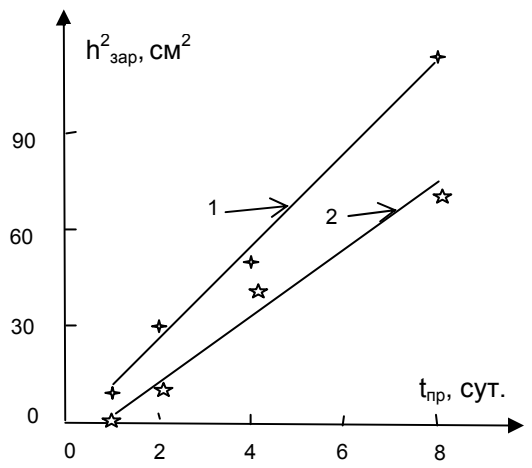


Рисунок 12. Зависимость глубины зарождения первых кристаллов в геле от времени пропитки.
Прямая 1: концентрация $CaCl_2$ пропитывающего и основного растворов над гелем 1,0 моль·л$^{-1}$.
Прямая 2: концентрация $CaCl_2$ пропитывающего и основного растворов над гелем 0,5 моль·л$^{-1}$

Далее рассчитаем для концентрации $CaCl_2$ пропитывающего и основного растворов над гелем 1,0°моль·л$^{-1}$:

1) время зарождения первого кристалла при пропитке 4 суток;
2) глубину зарождения первого кристалла по времени при пропитке 4 суток;
3) нахождение правой границы ЗАР в момент зарождения первого кристалла по времени при пропитке 4 суток;
4) нахождение правой и левой границы ЗАР в момент окончания эксперимента, которое составляет 44 суток, при пропитке 4 суток.

Очевидно, что момент зарождения первого кристалла по времени при пропитке 4 суток будет зависеть от коэффициента диффузии ионов ОН группы начиная с момента замены пропитывающего раствора на основной раствор.

Время зарождения первого кристалла при пропитке 4 суток определим из выражения (9):

$$t_{зар} = n \cdot t_{пр} + t_0 = 2.8 \cdot 4 + 1,8 = 13 \text{ суток}$$

При $t_{пр}$ = 4 суток время зарождения первого кристалла составило t_0 = 13 суток, или $t_0 = 1,12 \cdot 10^6$ секунд.

Глубину зарождения первого кристалла по времени при пропитке 4 суток определим из выражения (10):

$$h_{зар} = \sqrt{(d_1 \cdot t_{пр} + p_1)} = \sqrt{(14,4 \cdot 4 - 3)} = 7.4 \text{ см.}$$

Ранее мы определили [3], что местоположение правой границы зоны активного роста определяется как

$$(h_p)^2 = 2 \cdot d_p \cdot t \quad (11),$$

где t – время; h_p – координата правой ЗАР в геле; d_p – «эффективный коэффициент диффузии» правой границы ЗАР, и он составляет $d_p = 1,2 \cdot 10^{-5}$ см^2/с.

При диффузии хлористого кальция $t = t_{зар} + t_{пр}$ = 13+4=17 суток, или $t = 14,7 \cdot 10^5$ секунд, получаем, что правая граница ЗАР в это время должна была находиться на глубине

$$h_p = \sqrt{(2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 14,7 \cdot 10^5)} = 5,9 \text{ см.}$$

Нахождение правой и левой границы ЗАР в момент окончания эксперимента определим также из выражения (11).

При t = 44 суток, или $t = 38 \cdot 10^5$ секунд, и $d_p = 1,2 \cdot 10^{-5}$ см^2/с, $d_l = 0.64 \cdot 10^{-5}$ см^2/с получаем, что правая граница ЗАР в это время должна была находиться на глубине

$$h_p = \sqrt{(2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 38 \cdot 10^5)} = 9.55 \text{ см,}$$

а левая граница ЗАР в это время должна была находиться на глубине

$$h_l=\sqrt{(2\cdot 0{,}64\cdot 10^{-5}\cdot 38\cdot 10^{5})}=6{,}8 \text{ см.}$$

Зарождение первого кристалла по времени произошло на $t_{зар}$ =13 сутки на глубине $h_{зар}$ =7.4см после замены пропитывающего раствора на основной. Тогда коэффициент диффузии ионов ОН группы в гель составил

$$d_{он} =(h_{зар})^2 /2\cdot t_{зар} = 7{,}4^2/2\cdot 1{,}12\cdot 10^6=2{,}44\cdot 10^{-5} \text{ см}^2\text{/с.}$$

Таким образом, при концентрации раствора хлористого кальция над гелем $[CaCl_2]$=1.0 моль·л$^{-1}$, при времени пропитки $t_{пр}$ = 4 суток зарождение первого кристалла по времени произошло на $t_{зар}$ =13 сутки на глубине $h_{зар}$ =7.4 см после замены пропитывающего раствора на основной. При этом правая граница ЗАР в это время находилась на глубине h_p=5,9 см, т.е на 1,5 см выше от зародившегося кристалла. Причиной зарождения кристалла стала диффузия ионов ОН группы в гель с коэффициентом диффузии $d_{он}$ =2,44·10^{-5} см^2/с, т.е. на глубине $h_{зар}$ =7.4 см выполнилось условие $[Ca^{2+}]\cdot[C_4H_4O_6^{2-}]$>ПР. По окончании эксперимента через t = 44 суток левая граница ЗАР находилась на глубине h_l=6,8 см, т.е. ко времени окончания эксперимента кристалл находился в ЗАР и продолжал расти.

Подводя итоги анализа процессов зарождения кристаллов в гелях, можно отметить следующие особенности.

1. Изменяя кислотность кристаллогенетической среды, можно управлять процессами зародышеобразования.
2. Уменьшение значения pH среды приводит к подавлению центров зарождения кристаллов в геле около границы раздела сред гель-раствор и образованию кристаллов на некоторой глубине геля, при этом граница зарождения кристаллов сдвигается вглубь геля.
3. С уменьшением значения pH среды уменьшается количество центров зарождения кристаллов в геле и увеличивается средняя масса одного кристалла.
4. Положение границы зарождения первых кристаллов по времени зависит от концентрации исходного реагента в растворе над гелем: чем эта концентрация больше, тем глубже находится первый слой кристаллов в геле.
5. Граница зарождения кристаллов в геле поднимается к границе раздела сред гель-раствор по мере зарождения и роста кристаллов.
6. Время появления первых кристаллов в геле зависит только от времени пропитки и не зависит от концентрации исходного реагента в растворе над гелем.
7. Количество центров зарождения кристаллов в граничном слое геля носит не вероятностный характер, а зависит, по всей видимости, от начальных параметров исходных реагентов, кислотности среды и связан с распределением пор по размеру (эффект Ребиндера).

Математическое моделирование процессов зарождения кристаллов в геле

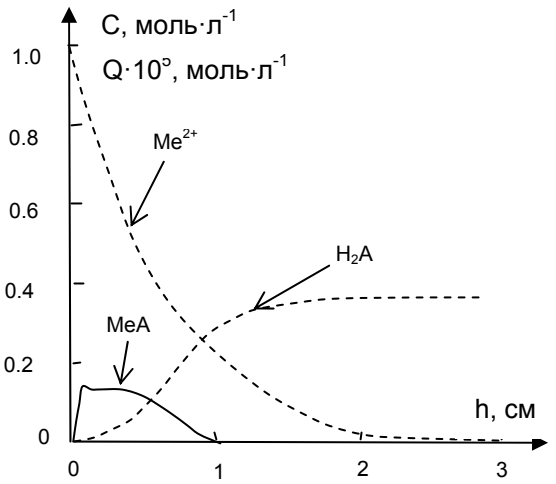


Рисунок 13. Распределение концентраций кристаллообразующих компонентов и осадка в геле.
[Me^{2+}] – ионы кальция Ca^{2+}
[H_2A] – молекулы винной кислоты $H_2C_4H_4O_6$
[MeA] – осадок Q тартрата кальция $CaC_4H_4O_6$

Для выяснения процессов, происходящих при зарождении и росте кристаллов в гелях, мы попытались смоделировать их на основе математической модели, предложенной нами ранее [3]. Прежде всего, следует отметить, что в рамках описанной модели не удается получить движения координаты первого слоя осадка вглубь геля ни при каких изменениях кислотности гелевой среды и концентрациях хлористого кальция в растворе над гелем.

На рис. 13 в качестве примера показаны распределения концентраций кристаллообразующих компонентов при времени пропитки 4 суток и концентрации $[CaCl_2]$=1.0 моль·л$^{-1}$ в растворе над гелем. Условия вычислений:

1) концентрация хлористого кальция в пропитывающем и основном растворах $[CaCl_2]$=1.0 моль·л$^{-1}$;
2) кислотность пропитывающего раствора pH=0,34
3) время пропитки $t_{пр}$ = 4 суток;
4) кислотность основного раствора pH=10;
5) продолжительность эксперимента t = 5 суток.

Видно, что выпадение осадка начинается непосредственно около границы раздела сред гель-раствор. Следуя Г. Генишу [5], можно предположить, что для описания процессов зарождения кристаллов в гелях недостаточно одного лишь условия пересыщения:

$$[Me^{+}]\cdot[A^{-}] > ПР \quad (12),$$

где $[Me^{+}]$, $[A^{-}]$ – концентрации кристаллообразующих ионов, в нашем случае это концентрации $[Ca^{2+}]$ и $[C_4H_4O_6^{2-}]$, ПР – произведение растворимости.

Требуется дополнительное условие на концентрации кристаллообразующих ионов.

Необходимость такого условия вытекает и из того факта, что время зарождения первых кристаллов одинаково для различных концентраций раствора хлористого кальция в растворе над гелем (рис. 11). Ясно, что если бы условие (11) было необходимым и достаточным, для одномольного раствора оно выполнялось бы раньше, чем для полумольного, и, следовательно, в пробирке с одномольным раствором кристаллы зародились бы раньше. В качестве дополнительного условия на концентрации в программу вычислений было введено следующее ограничение: осадок может выпасть только в тех точках геля, где концентрации кристаллообразующих ионов удовлетворяют неравенствам (12) и (13):

$$\left|\frac{pMe - pA}{pMe + pA}\right| \le \gamma \quad (13),$$

где: $pMe = -lg\left[Me^{2+}\right]$, $pA = -lg\left[A^{2-}\right]$, γ – параметр модели.

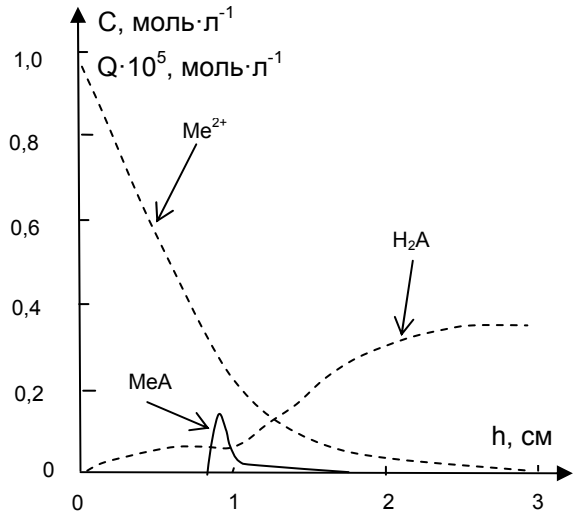


Рисунок 14. Распределение концентраций кристаллообразующих компонентов и осадка в геле.
$[Me^{2+}]$ – ионы кальция Ca^{2+}
$[H_2A]$ – молекулы винной кислоты $H_2C_4H_4O_6$
[MeA] – осадок Q тартрата кальция $CaC_4H_4O_6$

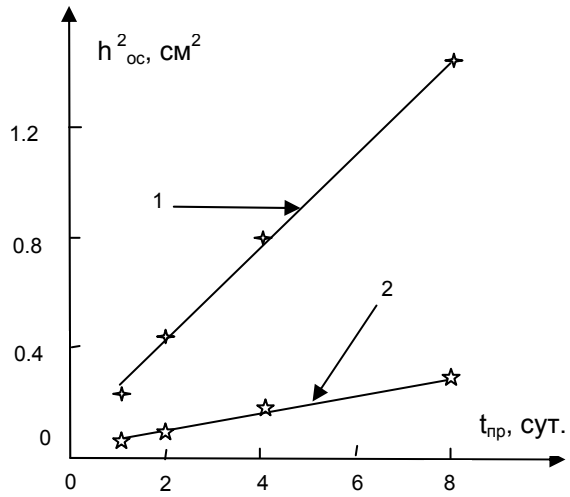


Рисунок 15. Зависимость положения границы начала выпадения осадка от времени пропитки. Прямая 1: концентрация $CaCl_2$ пропитывающего и основного растворов над гелем 1,0 моль·л$^{-1}$. Прямая 2: концентрация $CaCl_2$ пропитывающего и основного растворов над гелем 0,5 моль·л$^{-1}$

Это ограничение привело к смещению координаты первого слоя осадка вглубь геля. На рис. 14 показано распределение концентраций компонентов в геле при γ = 0,8. Условия вычислений:

1) концентрация хлористого кальция в пропитывающем и основном растворах $[CaCl_2]$=1.0 моль·л$^{-1}$;
2) кислотность пропитывающего раствора pH=0,34
3) время пропитки $t_{пр}$ = 4 суток;
4) кислотность основного раствора pH=10;
5) продолжительность эксперимента t = 9 суток.

Видно, что выпадение осадка начинается на глубине порядка h = 1 см. при времени пропитки 4 суток. На рис. 15 приведена зависимость глубины выпадения первого осадка $h_{ос}$ от времени пропитки $t_{пр}$ для растворов хлористого кальция разной молярности при γ =0,8. Видно, что зависимость описывается линейной функцией:

$$h^2_{ос} = d_{ос} \cdot t_{пр} + p_{ос} \quad (14)$$

где $d_{ос}$, $p_{ос}$ – коэффициенты.

При концентрации $CaCl_2$ пропитывающего и основного растворов над гелем 1,0 моль·л$^{-1}$ d_{oc} = 0,17, p_1 = 0,09.

При концентрации $CaCl_2$ пропитывающего и основного растворов над гелем 0,5 моль·л$^{-1}$ d_{oc} = 0,03, p_{oc} = 0,03.

Полученный результат качественно хорошо согласуется с экспериментальными данными. Тангенсы угла наклона прямых на графике зависят от молярности хлористого кальция в растворе над гелем, правда, значительно сильнее, чем в эксперименте. В таблице 2 приведены тангенсы углов наклона прямых, вычисленные для нескольких значений γ и двух концентраций CaCl2 раствора над гелем. Таким образом, значение параметра модели γ влияет как на глубину образования первого осадка, так и на зависимость глубины выпадения осадка от концентрации раствора хлористого кальция в растворе над гелем. Ранее мы показали [3], что экспериментальные данные зависимости средней массы одного кристалла от глубины зарождения хорошо интерпретируются, если принять за основу гипотезу о росте кристалла в зоне активного роста (ЗАР). Поэтому в качестве критерия для выбора значения γ взято условие выпадения осадка в ЗАР с максимумом в центре зоны. Это условие хорошо удовлетворяется при γ = 0,8 (рис 14).

Таблица 2

Параметр модели, γ	Концентрация $CaCl_2$	
	0,5 моль·л$^{-1}$	1,0 моль·л$^{-1}$
	d_{oc}	d_{oc}
0,70	0,14	0,36
0,75	0,07	0,27
0,80	0,03	0,17

Для наиболее наглядного понимания совместного действия условий (12) и (13) полезно рассмотреть плоскость, которую образуют концентрации кристаллообразующих компонентов, т.е. pMe и pA (рис. 16).

Если условие (12) прологарифмировать, тогда прямая

$$pA = -pMe + p(ПР) \quad (15)$$

задает равновесное состояние и делит плоскость на две части, так, что область концентраций кристаллообразующих компонентов, удовлетворяющая условию пересыщения, лежит под прямой, а недосыщеное состояние – над прямой. Условие (13) задает две прямые:

$$pA = [(1-\gamma)/(1+\gamma)]\cdot pMe \quad (16)$$

$$pA = [(1+\gamma)/(1-\gamma)]\cdot pMe,$$

ограничивающие область концентраций, при которых возможно выпадение осадка, т.е. физический смысл условия (13) состоит в том, что концентрации ионов не должны сильно отличаться друг от друга, только в этом случае произойдет зарождение кристаллов в гелях. Предложенный нами критерий несколько отличается от рекомендуемого Г.Генишем [5], однако различие носит лишь количественный характер. Отношение компонентов кристаллообразующих ионов в модели Г.Гениша может достигать величин порядка 1-2, в то время как у нас из-за логарифметического масштаба это различие намного больше – порядка 10^9.

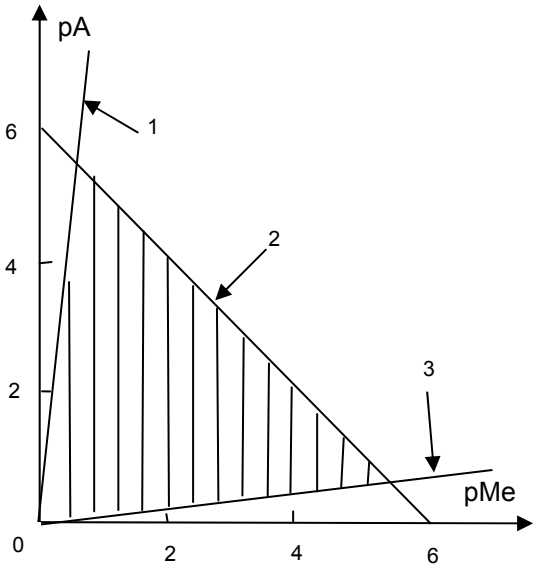


Рисунок 16. Область концентраций кристаллообразующих ионов, удовлетворяющая условиям зарождения кристаллов.
1: прямая наибольших концентраций ионов типа А
pA = [(1+ γ)/ (1- γ)]·pMe.
2: прямая равновесного состояния
pA = – pMe + p(ПР).
3: прямая наибольших концентраций ионов типа Me
pA = [(1- γ)/ (1+ γ)]·pMe

Следует отметить, что все наши действия с раствором над гелем, изложенные выше, принципиально не отличаются от действий проектировщика при создании климатических систем.

И учитывая, что одним из немногих способов обеспечить качество воздуха в помещении является внедрение эффективных систем климатизации здания, мы уже можем конкретизировать основную задачу, которую должен решать проектировщик при обеспечении качества воздуха в помещении.

Проектировщик, используя средство достижения цели (климатическое оборудование), должен создать климатическую систему (биохимический завод) таким образом, чтобы эта климатическая система поддерживала в помещении концентрацию исходных химических соединений на таком уровне, что концентрация кристаллообразующих компонентов в организме человека и на любой высокоразвитой поверхности в этом помещении не попала в треугольник (рис. 16), т.е. одно из условий (12) или (13) не должно выполняться.

Итак, при создании климатических систем проектировщик должен учитывать следующее.

1. Уровень загрязнения атмосферного воздуха.
2. Уровень выделения вредных соединений внутри помещения.
3. Поступление химических соединений в организм человека не только с воздухом, но и с пищей и водой [6].
4. Что механизмы компенсации [7] в организме человека нацелены на поддержание постоянства pH, а не нормальных концентраций HCO_3^- и CO_2, поэтому окончательная нормализация происходит только тогда, когда Pco_2 и $[HCO_3^-]$ также достигают своих нормальных значений. Следовательно, процесс нормализации в организме человека может происходить от нескольких часов до нескольких суток.
5. Что единственный способ удержать функционирование организма конечного пользователя в зоне оптимума – это обеспечение воздухообмена и, при необходимости, глубокая очистка приточного воздуха до такого уровня, чтобы не попасть в зону нижнего пессимума [8].
6. Что биоминералы [9], будь то физиогенные или патогенные, неразрывно связаны с органическим веществом, образуя вместе с ним единый органоминеральный агрегат (ОМА), где органическая составляющая не является пассивной, а активно участвует в появлении той или иной минеральной компоненты, определяя и форму ее выделения.
7. Что частота встречаемости патогенных ОМА и распространенность их по составу распределены неравномерно по разным территориям на планете. Здесь играют роль и специфика местных условий (жесткость воды, климат и пр.), и род занятий человека, и тип питания, наконец, экологическая обстановка в данном регионе. Поэтому единого для всех нормированного воздухообмена быть не может.
8. Что для успешного решения задачи проектировщик должен быть обеспечен необходимым минимальным количеством энергии, которое определяется расходом наружного воздуха.
9. Что комфортные условия можно создать человеку, сидящему на электрическом стуле, но от этого этот стул не становится более безопасным для организма человека.
10. Что в том случае, когда он не справился со своей задачей, последствия отрицательного влияния воздуха на организм человека (патогенный биоминерал) должен будет устранять хирург. Другого эффективного способа, кроме хирургического вмешательства, для удаления из организма патогенных биоминералов на сегодняшний день пока не существует. И даже эти методы помогают далеко не всегда.

На наш взгляд, кроме этого необходимо устранить следующую системную ошибку: существующая нормативная база не привязана к физиологии человека.

Из вышеприведенных экспериментальных данных напрашивается вывод, что конечный результат при создании и эксплуатации климатических систем, которые соответствуют существующей нормативной базе, может приводить организм пользователя этих систем к состоянию любой из семи выбранных нами пробирок. Поэтому мы говорим, что действия проектировщика при создании климатических систем на сегодняшний день в соответствии с постулатами Парацельса носят характер неопределенности в оценке риска отрицательного влияния воздуха на организм человека.

Следует особо отметить, что, даже если бы мы имели совершенную нормативную базу, которая бы ограничивала действия и снижала количество ошибок проектировщика, то степень риска определялась бы уже квалификацией самого проектировщика. Наличие совершенной нормативной базы (необходимое условие для обеспечения качества воздуха в помещении) не гарантирует отсутствие риска, а только несколько его понижает. Следовательно, при наличии совершенной нормативной базы степень риска будет определяться человеческим фактором. Отсюда напрашивается еще один вывод, что проектировщик должен быть специалистом не столько по предмету, сколько по проблеме (при широком ассортименте климатического оборудования это достаточное условие).

Проводя аналогию с продуктами питания, разницу между обычными и эффективными системами климатизации зданий можно показать следующим образом. Продукты питания одного и того же наименования, но произведенные в местностях с разным уровнем загрязнения, могут приводить организм потребителя к совершенно разным эффектам. При этом потребитель должен хорошо осознавать, что цена на эти продукты определяется не качеством продукта, а спросом на него. Таким образом, один и тот же продукт питания по одинаковой цене может приводить совершенно к противоположному конечному результату. Точно так же происходит и на климатическом рынке. Климатические системы, созданные различными проектировщиками, могут быть похожи и практически не отличаться по стоимости, но это далеко не одно и то же по влиянию воздуха на организм человека.

Таблица 3

Вещество	Эффект
Азот диоксид	Увеличение частоты случаев появления симптомов со стороны верхних дыхательных путей у детей Увеличение продолжительности периодов обострения заболеваний верхних дыхательных путей у детей

	Увеличение частоты заболеваний нижних дыхательных путей у детей
Взвешенные вещества	Число детей с нарушенной функцией легких (FVC или FEV1 менее 85% от должной величины) Число детей и подростков, страдающих бронхитом (возраст менее 18 лет) Число дней с острыми респираторными симптомами Число дней с ограниченной активностью (для взрослых) Число дней с обострениями бронхиальной астмой Частота симптомов со стороны верхних отделов дыхательных путей Частота симптомов со стороны нижних отделов дыхательных путей частота кашля, человеко-дни) Частота применения бронходилятаторов (человеко-дни) Обращаемость за скорой медицинской помощью Обращаемость по поводу заболеваний сердца Обращаемость по поводу респираторных заболеваний Развитие острого бронхита (дети и подростки) Развитие хронического бронхита (для лиц в возрасте 25 лет и более) Частота обострения бронхиальной астмы Заболеваемость пневмонией Общая смертность Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний Смертность от заболеваний органов дыхания
Кадмий	Концентрация кадмия в биосубстратах Нефропатия
Озон	Обращаемость за скорой мед. помощью Изменение функции легких Общая смертность
Свинец	Концентрация свинца в крови плода, детей, мужчин, женщин Снижение интеллекта у детей Неонатальная смертность Гипертензии Заболевания коронарных сосудов сердца Инсульт Преждевременная смерть от сердечно-сосудистых заболеваний
Сера диоксид	Частота приступов астмы у астматиков Обращаемости за скорой медицинской помощью по поводу респираторных заболеваниций лиц в возрасте 65 лет и более Увеличение смертности от сердечно-сосудистых заболеваний Увеличение смертности от заболеваний органов дыхания Увеличение общей смертности
Углерод оксид	Содержания карбоксигемоглобина в крови Частота приступов у некурящих больных стенокардией в возрасте 35 – 37 лет (снижение межприступного периода, %) Обращаемости по поводу заболеваний сердца (в возрасте 65 лет и более)

Литература:

1. Новиков С.М. Химическое загрязнение окружающей среды: основы оценки риска для здоровья населения // http://www.erh.ru/dok/metod05.php.
2. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М., 2004.
3. Гошка Л.Л. Математическое моделирование и экспериментальные данные по росту кристаллов в двухфазной системе // Инженерно-строительный журнал, №4/2009. СПб, 2009.
4. Cipanov A.V., Goshka L.L., Rusov V.P.: Crist. Res.Technol. 7. (1990) 737 (a).
5. Henisch H.K., Garcia-Ruiz J.M. Cryst. Growth 75 (1986) 203.
6. Гошка Л.Л. Климатические системы: влияние воздуха на организм человека // Инженерно-строительный журнал, №1/2009. СПб, 2009.
7. Гошка Л.Л. Климатические системы и образование патогенных биоминералов в организме человека // Инженерно-строительный журнал, №2/2009. СПб, 2009.
8. Жолнин А.В. Химия биогенных элементов. Конспект лекций по общей химии. Челябинск, 2001.
9. Пальчик Н.А., Столповская В.Н. Минералы внутри нас // Вестник РФФИ, №4/1998. М., 1998.
10. Венедиктов Д.Д. Здравоохранение России: кризис и пути преодоления. М.,1999.
11. Гошка Л.Л. Вам как: дешево или правильно // Журнал С.О.К., №9/2007. М., 2007.

**Леонид Леонидович Гошка, г. Сыктывкар*

Тел. раб.: +7 (8212) 29-10-24, факс: +7 (8212) 24-44-10; эл. почта: tookola@mail.ru

Акустический расчет системы вентиляции и кондиционирования в современных зданиях

Д.т.н., профессор И.И. Боголепов*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет и ГОУ Санкт-Петербургский государственный морской технический университет;
магистр А.А. Гладких,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Система вентиляции и кондиционирования воздуха (СВКВ) – важнейшая система для современных зданий и сооружений. Однако, кроме необходимого качественного воздуха, система транспортирует в помещения шум. Он идет от вентилятора и других источников, распространяется по воздуховоду и излучается в вентилируемое помещение. Шум несовместим с нормальным сном, учебным процессом, творческой работой, высокопроизводительным трудом, полноценным отдыхом, лечением, получением качественной информации [1]. В строительных нормах и правилах России сложилась такая ситуация. Метод акустического расчета СВКВ зданий, использовавшийся в старом СНиПе II-12-77 «Защита от шума» [13], устарел и не вошел поэтому в новый СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» [14]. Итак, старый метод устарел, а нового общепризнанного пока нет [11,12]. Ниже предлагается простой приближенный способ акустического расчета СВКВ в современных зданиях, разработанный с использованием лучшего производственного опыта, в частности, на морских судах [4,5,7].

Предлагаемый акустический расчет основан на теории длинных линий распространения звука в акустически узкой трубе [2,3,10] и на теории звука помещений с практически диффузным звуковым полем [6]. Он выполняется с целью оценки уровней звукового давления (далее – УЗД) и соответствия их значений действующим нормам допустимого шума [14]. Он предусматривает определение УЗД от СВКВ вследствие работы вентилятора (далее – «машина») для следующих типовых групп помещений:

1) в помещении, где расположена машина;
2) в помещениях, через которые воздуховоды проходят транзитом;
3) в помещениях, обслуживаемых системой.

Исходные данные и требования

Расчет, проектирование и контроль защиты людей от шума предлагается выполнять для наиболее важных для человеческого восприятия октавных полос частот, а именно: 125 Гц, 500 Гц и 2000 Гц. Октавная полоса частот 500 Гц является среднегеометрической величиной в диапазоне нормируемых по шуму октавных полос частот 31,5 Гц – 8000 Гц [14]. Для постоянного шума расчет предусматривает определение УЗД в октавных полосах частот по уровням звуковой мощности (УЗМ) в системе. Величины УЗД и УЗМ связаны общим соотношением $L = L_W - 10\,lg\,S$, где L – УЗД относительно порогового значения $2\cdot10^{-5}$ Н/м^2; L_W °–°УЗМ относительно порогового значения 10^{-12} Вт; S – площадь распространения фронта звуковых волн, м^2.

УЗД должны определяться в расчетных точках нормируемых по шуму помещений по формуле $L = L_W + \Delta L_П$,где L_W — УЗМ источника шума. Величина $\Delta L_П$, учитывающая влияние помещения на шум в нем, рассчитывается по формуле:

$$\Delta L_П = 10\,lg\left(\frac{\chi\Phi}{\Omega\,r^2} + \frac{4}{\kappa Q}\right),$$

где χ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля; Ω — пространственный угол излучения источника шума, рад.; Φ – коэффициент направленности излучения, принимается по экспериментальным данным (в первом приближении равен единице); r – расстояние от центра излучателя шума до расчетной точки в м; $Q = \dfrac{\alpha_П S_П}{1-\alpha_П}$ – акустическая постоянная помещения, м^2; $\alpha_П$ – средний коэффициент звукопоглощения внутренних поверхностей помещения; $S_П$ – суммарная площадь этих поверхностей, м^2; κ – коэффициент, учитывающий нарушение диффузного звукового поля в помещении.

Указанные величины, расчетные точки и нормы допустимого шума регламентируются для помещений различных зданий СНиПом 23-03-2003 «Защита от шума» [14]. Если расчетные значения УЗД превосходят норму допустимого шума хотя бы в одной из указанных трех полос частот, то необходимо спроектировать мероприятия и средства снижения шума.

Исходными данными для акустического расчета и проектирования СВКВ являются:

- компоновочные схемы, применяемые в конструкции сооружения; размеры машин, воздуховодов, регулирующей арматуры, колен, тройников и воздухораспределителей;
- скорости движения воздуха в магистралях и ответвлениях — по данным технического задания и аэродинамического расчета;
- чертежи общего расположения помещений, обслуживаемых СВКВ — по данным строительного проекта сооружения;
- шумовые характеристики машин, регулирующей арматуры и воздухораспределителей СВКВ — по данным технической документации на эти изделия.

Шумовыми характеристиками машины являются следующие уровни УЗМ воздушного шума в октавных полосах частот в дБ: L_{WB} - УЗМ шума, распространяющегося от машины в воздуховод всасывания; L_{WH} - УЗМ шума, распространяющегося от машины в воздуховод нагнетания; L_{WM} - УЗМ шума, излучаемого корпусом машины в окружающее пространство. Все шумовые характеристики машины определяются в настоящее время на основании акустических измерений по соответствующим национальным или международным стандартам и другим нормативным документам [10].

Шумовые характеристики глушителей, воздуховодов, регулируемой арматуры и воздухораспределителей представлены УЗМ воздушного шума в октавных полосах частот в дБ:

ΔL_W - УЗМ шума, генерируемого элементами системы при прохождении потока воздуха через них (генерация шума); δL_W — УЗМ шума, рассеиваемого или поглощаемого в элементах системы при прохождении через них потока звуковой энергии (снижение шума).

Эффективность генерации и снижения шума элементами СВКВ определяются на основании акустических измерений. Подчеркнем, что значения величин ΔL_W и δL_W должны быть указаны в соответствующей технической документации.

Должное внимание уделяется при этом точности и надежности акустического расчета, которые закладываются в погрешность результата величинами $t_{\Phi}\sigma$ и ε [6,10,12,15].

Расчет для помещений, где установлена машина

Пусть в помещении 1, где установлена машина, имеется вентилятор, уровень звуковой мощности которого, излучаемый в трубопровод всасывания, нагнетания и через корпус машины, есть величины в дБ L_{WB1}, L_{WH1} и L_{WM1}. Пусть у вентилятора на стороне трубопровода нагнетания установлен глушитель шума с эффективностью глушения в дБ $(\delta_0\ L_W)_1$. Рабочее место находится на расстоянии r_1 от машины. Разделяющее помещение 1 и помещение 2 стена находится на расстоянии r_{11} от машины. Постоянная звукопоглощения помещения 1: $Q_1 = \dfrac{\alpha_1\ S_1}{(1-\alpha_1)}$.

Для помещения 1 расчет предусматривает решение трех задач.

1-я задача. Выполнение нормы допустимого шума L_{H1}.

Если всасывающий и нагнетательный патрубки выведены из помещения машины, то расчет УЗД в помещении, где она расположена, производится по следующим формулам.

Октавные УЗД в расчетной точке помещения L_1 определяются в дБ по формуле:

$$L_1 = L_{WM1} + t_{\Phi}\sigma + \Delta L_{\Pi 1} \le L_{H1}, дБ,$$

где L_{WM1} — УЗМ шума, излучаемого корпусом машины с учетом точности и надежности с помощью $t_{\Phi}\sigma$ [6,10,12]. Величина $\Delta L_{П}$, указанная выше, определяется по формуле:

$$\Delta L_{П1} = 10\lg\left(\frac{\chi_1}{2\pi\ r_1^2} + \frac{4}{\kappa_1 Q_1}\right)$$

Если в помещении размещены n источников шума, УЗД от каждого из которых в расчетной точке равны L_i, то суммарный УЗД от всех их определяется по формуле:

$$L_{\Sigma} = 10\,lg\left[\sum_{i=1}^{n} 10^{0,1 L_i}\right] \le L_{H1},\ дБ.$$

В результате акустического расчета и проектирования СВКВ для помещения 1, где установлена машина, должно быть обеспечено выполнение в расчетных точках норм допустимого шума L_{H1} [14].

2-я задача. Расчет величины УЗМ в воздуховоде нагнетания из помещения 1 в помещение 2 (помещение, через который воздуховод проходит транзитом), а именно величины L_{WH2} в дБ производится по формуле

$$L_{WH2} = L_{WH1} - (\delta_0\ L_W)_1 .$$

3-я задача. Расчет величины УЗМ, излучаемой стенкой площадью $S_{1.2}$ со звукоизоляцией $R_{1.2}$ помещения 1 в помещение 2, а именно величины L_{WS12} в дБ, выполняется по формуле

$$L_{WS12} = L_{WM1} + 10\lg\left(\frac{\chi_1}{2\pi\ r_{11}^2} + \frac{1}{\kappa_1 Q_1}\right) - R_{1.2} + 10\lg S_{1.2}$$

Таким образом, результатом расчета в помещении 1 является выполнение норм по шуму в этом помещении и получение исходных данных для расчета в помещении 2.

Расчет для помещений, через которые воздуховод проходит транзитом

Для помещения 2 (для помещений, через которые воздуховод проходит транзитом) расчет предусматривает решение следующих пяти задач.

1-я задача. Расчет звуковой мощности, излучаемой стенками воздуховода в помещение 2, а именно определение величины L_{WT} в дБ по формуле:

$$L_{WT} = L_{WH2} - 10\lg D_Э^2 - R_T + 10\lg(4\,l_2\ D_Э)$$

В этой формуле: L_{WH2} — см. выше 2-ю задачу для помещения 1;

$D_Э = 1{,}12\sqrt{S_0}$ — эквивалентный диаметр сечения воздуховода с площадью поперечного сечения S_0;

l_2 – длина помещения 2.

Звукоизоляция стенок цилиндрического воздуховода в дБ рассчитывается по формуле:

$$R_T = 10\,lg\,E - 20\,lg\left(\frac{D}{s}\right) - 16\,lg\,f + 32\ ,$$

где E — динамический модуль упругости материала стенки воздуховода, Н/м^2;

D — внутренний диаметр воздуховода в м;

s – толщина стенки воздуховода в м;

f – среднегеометрическая частота октавных полос в Гц.

Звукоизоляция стенок воздуховодов прямоугольного сечения рассчитывается по следующей формуле в дБ:

$$R_T = 14{,}5\left[lg\left(m\,f+100\right) - 2\right],$$

где $m = \rho\, s$ — масса единицы поверхности стенки воздуховода (произведение плотности материала ρ в кг/м^3 на толщину стенки s в м);

f — среднегеометрическая частота октавных полос в Гц.

2-я задача. Расчет УЗД в расчетной точке помещения 2, находящейся на расстоянии r_2 от первого источника шума (воздуховод) выполняется по формуле, дБ:

$$L_{21} = L_{WT} + 10\lg\left(\frac{\chi_2}{\pi\, r_2^2} + \frac{4}{\kappa_2\, Q_2}\right)$$

3-я задача. Расчет УЗД в расчетной точке помещения 2 от второго источника шума (УЗМ, излучаемой стеной помещения 1 в помещение 2, – величина L_{WS12} в дБ) выполняется по формуле, дБ:

$$L_{22} = L_{WS12} + 10\lg\frac{4}{\kappa_2\, Q_2}$$

4-я задача. Выполнение нормы допустимого шума L_{H2}.

Расчет ведется по формуле в дБ:

$$L_2 = \left\{10\,lg\left(10^{0{,}1\,L_{21}} + 10^{0{,}1\,L_{22}}\right) + \varepsilon\right\} \le L_{H2}.$$

В результате акустического расчета и проектирования СВКВ для помещения 2, через которое воздуховод проходит транзитом, должно быть обеспечено выполнение в расчетных точках норм допустимого шума L_{H2} [14]. Это первый результат.

5-я задача. Расчет величины УЗМ в воздуховоде нагнетания из помещения 2 в помещение 3 (помещение, обслуживаемое системой), а именно величины L_{WH3} в дБ по формуле:

$$L_{WH3} = L_{WH2} - \left(\delta_1\, L_W\right) l_2.$$

Величина потерь на излучение звуковой мощности шума стенками воздуховодов на прямолинейных участках воздуховодов единичной длины $\delta_1 L_W$ в дБ/м представлена в таблице 2. Вторым результатом расчета в помещении 2 является получение исходных данных для акустического расчета системы вентиляции в помещении 3.

Расчет для помещений, обслуживаемых системой

В помещениях 3, обслуживаемых СВКВ (для которых система в конечном счете и предназначена), расчетные точки и нормы допустимого шума принимаются в соответствии со СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» [14] и техническим заданием.

Для помещения 3 расчет предусматривает решение двух задач.

1-я задача. Расчет звуковой мощности, излучаемой воздуховодом через выпускное воздухораспределительное отверстие в помещение 3, а именно определение величины L_{W3} в дБ, предлагается выполнять следующим образом.

Частная задача 1 для низкоскоростной системы со скоростью воздуха v<<10 м/с и K_0=0 и трех типовых помещений (см. ниже пример акустического расчета) решается с помощью формулы в дБ:

$$L_{W3} = L_{WH3} - \left(\delta_0\, L_W\right)_2 - \left(\delta_2\, L_W\right)_i^j - \Delta\, L_0$$

Здесь $L_{WH3} = L_{WH2} - \left(\delta_1\, L_W\right) l_2$;

$L_{WH2} = L_{WH1} - \left(\delta_0\, L_W\right)_1$;

$(\delta_0\ L_W)_2$ - потери в глушителе шума в помещении 3;

$(\delta_2\ L_W)_{i=1}^{j=2}$ - потери в тройнике в помещении 3 (см. ниже формулу);

$\Delta\ L_0$ – потери в результате отражения от конца воздуховода (см. таблицу 1 [13]).

Общая задача 1 состоит в решении для многих из трех типовых помещений с помощью следующей формулы в дБ:

$$L_{W3} = [генерация\quad шума] - [снижение\quad шума] = \left[10\lg\left(10^{0,1\,L_{WH1}} + 10^{0,1\,\Sigma\,\Delta L_{Wi}}\right) + K_0\right] - \left[\Delta\,L_0 + \Sigma\delta\,L_W\right]$$

Здесь L_{WH1} — УЗМ шума, распространяющегося от машины в воздуховод нагнетания в дБ с учетом точности и надежности величиной $t_Ф\sigma$ (принимается по данным технической документации на машины);

$\Sigma\Delta L_W = 10\,lg\left(\sum_{i=1}^{n} 10^{0,1\Delta L_{Wi}}\right)$ — УЗМ шума, генерируемого воздушным потоком во всех элементах системы в дБ (принимается по данным технической документации на эти элементы);

$\Sigma\delta\ L_W$ — УЗМ шума, поглощающегося и рассеивающегося при прохождении потока звуковой энергии через все элементы системы в дБ (принимается по данным технической документации на эти элементы);

ΔL_0 — величина, учитывающая отражение звуковой энергии от концевого выходного отверстия воздуховода в дБ, принимается по таблице 1 (эта величина равна нулю, если $\Sigma\delta\ L_W$ уже включает в себя ΔL_0);

K_0 — величина, равная 5 дБ для низкоскоростной СВКВ (скорость воздуха в магистралях меньше 15 м/с), равная 10 дБ для среднескоростной СВКВ (скорость воздуха в магистралях меньше 20 м/с) и равная 15 дБ для высокоскоростной СВКВ (скорость в магистралях меньше 25 м/с).

Таблица 1. Величина ΔL_0 в дБ. Октавные полосы f

Корень квадратный из площади поперечного выходного сечения воздуховода, мм	125 Гц	500 Гц	2000 Гц
50	23,0	11.5	3,0
100	18,0	7,5	0,5
125	16,5	6,5	0,5
140	15,0	5,5	0
160	14,5	4,5	0
180	13,5	4,0	0
200	13,0	3,0	0
225	11,5	2,5	0
250	11,0	2,0	0
280	10,5	1,5	0
315	9,5	1,0	0
355	8,5	1,0	0
400	7,5	0,5	0
450	6,5	0,5	0
500	6,0	0,5	0
800	3,0	0	0
1600	0	0	0

При расчете и проектировании средств снижения шума главным объектом внимания инженера-акустика является УЗМ шума, поглощающегося и рассеивающегося при прохождении потока звуковой энергии через все элементы СВКВ, а именно величина $\Sigma\delta\,L_W$.

Оптимизация 1-й задачи для помещения 3.

Вариант А: расстояние между элементами, поглощающими и рассеивающими шум в СВКВ, достаточно большое по сравнению с длиной волны (хорошее акустическое проектирование). Тогда в соответствии с главным принципом получения максимального эффекта снижения шума в СВКВ при расчете суммарного поглощения и рассеивания в СВКВ следует пользоваться следующей формулой суммирования в дБ:

$$\Sigma\,\delta\,L_W = \sum_{i}^{g}\left(\delta_0\,L_W\right)_i + \sum_{i=1}^{m}\left(\delta_1 L_W\right)_i\,l_i + \sum_{i=1}^{k}\left(\delta_2 L_W\right)_i^j + \sum_{i=1}^{l}\left(\delta_3 L_W\right)_i\ ,$$

где $\sum_{i}^{g}\left(\delta_0\,L_W\right)_i$ — потери звуковой мощности в глушителях шума (активного, камерного или смешанного типа) в дБ, принимаемые по данным технической документации;

$\sum_{i=1}^{m}\left(\delta_1 L_W\right)_i\,l_i$ – суммарные потери звуковой мощности на прямолинейных участках воздуховодов;

l_i — длина i–го участка в м;

m — общее число таких участков;

$\left(\delta_1 L_W\right)_i$ - потери звуковой мощности на i-м прямолинейном участке воздуховода единичной длины в дБ/м, принимается по данным таблицы 2 [13];

$\sum_{i=1}^{k}\left(\delta_2 L_W\right)_i^j$ – суммарные потери звуковой мощности в местах i–го тройника системы, общее число которых k, с ответвлением j;

величина $\left(\delta_2 L_W\right)_i^j$ в дБ принимается по формуле (см. ниже) или по данным технической документации;

$\sum_{i=1}^{l}\left(\delta_3 L_W\right)_i$ – потери звуковой мощности в регулируемой арматуре и в воздухораспределителях, принимается в дБ по данным соответствующей технической документации на эти устройства (если эта величина включает в себя потери звуковой мощности в концевом воздухораспределителе, то $\Delta L_0 = 0$).

Таблица 2. Величина потерь звуковой мощности шума на прямолинейных участках воздуховодов единичной длины $\delta_1 L_W$ в дБ/м. Октавные полосы f

Форма поперечного сечения воздуховода	Диаметр или эквивалентный диаметр воздуховода, мм	125 Гц	500 Гц	2000 Гц
Прямоугольная	75 — 175	0,64	0,32	0,32
Прямоугольная	200 -375	0,64	0,32	0,23
Прямоугольная	400 — 750	0,64	0,16	0,16
Прямоугольная	800 — 1500	0,32	0,10	0,07
Круглая	75 — 175	0,10	0,16	0,31
Круглая	200 — 375	0,10	0,16	0,22
Круглая	400 — 750	0,06	0,10	0,16
Круглая	800 — 1500	0,03	0,06	0,07

Потери звуковой мощности в местах разветвления системы (в тройниках) определяется тем, что исходная мощность делится в соответствии с относительной площадью разветвлений. Если воздуховод перед тройником i с площадью сечения S разделяется на два воздуховода с площадью сечений $S_{j=1}$ и $S_{j=2}$, то потери звуковой мощности в сечении $S_{j=1}$ рассчитываются по формуле:

$$\left(\delta_3\,L_W\right)_i^{j=1} = 10\lg\left[\frac{\left(1+\frac{S_1}{S}+\frac{S_2}{S}\right)^2}{4\,\frac{S_1}{S}}\right].$$

Если $\left(\frac{S_1+S_2}{S}\right)=1$, к чему следует стремиться из аэродинамических соображений, то представленная формула принимает вид: $\left(\delta_3\,L_W\right)_i^{j=1} = 10lg\left(\frac{S}{S_1}\right)$.

Вариант Б: расстояние между элементами, поглощающими и рассеивающими шум в СВКВ, мало по отношению к длине звуковой волны (плохое акустическое проектирование). При расчете рассеивания в элементах системы следует пользоваться формулой суммирования в Вт относительно порогового значения по формуле:

$$\Sigma\delta_i L_W = 10lg\left(10^{0,1\sum(\delta_0 L_W)_i} + 10^{0,1\sum(\delta_1 L_W)_i l_i} + 10^{0,1\sum(\delta_2 L_W)_i} + 10^{0,1\sum(\delta_3 L_W)_i}\right).$$

Искусство проектирования СВКВ состоит именно в том, чтобы исключить плохое акустическое проектирование. Главную роль здесь играет личная производственная практика инженера-акустика и лучшие отечественные и международные прототипы СВКВ.

2-я задача. Выполнение нормы допустимого шума L_{H3}.

Октавные УЗД воздушного шума СВКВ в помещениях 3, обслуживаемых одним j-м воздухораспределителем, следует определять в расчетной точке по формуле в дБ:

$$L_{3j} = L_{W3} + \Delta L_{\Pi j} \quad ,$$

где $\Delta L_{\Pi j_j} = 10lg\left(\frac{\chi_3 \Phi_3}{\Omega_3 \; r_J^2} + \frac{4}{\kappa_3 Q_3}\right)$ – величина в дБ, учитывающая влияние помещения на шум в нем от СВКВ при расстоянии r_j в м от центра воздухораспределителя j до расчетной точки.

Окончательно имеем для помещения 3: УЗД воздушного шума в помещении, обслуживаемом СВКВ, от n воздухораспределителей, каждый из которых дает вклад в расчетную точку L_j в дБ с нормой допустимого шума L_H в дБ в этой точке, следует определять по формуле суммирования в Вт:

$$L_3 = \left\{ 10lg\left[\sum_{i=1}^{n} 10^{0,1L_i}\right] + \varepsilon \right\} \le L_{H3}, \partial Б.$$

Точность и надежность расчета учитывается максимальной погрешностью результата — величиной ε [10,12,15], как указано ниже в примере акустического расчета вентиляции для местных телерадиостудий.

В результате акустического расчета СВКВ в помещениях, обслуживаемых системой, должно быть обеспечено путем *проектирования и контроля* выполнение в расчетных точках норм допустимого шума L_H, установленных для жилых, общественных и промышленных зданий СНиПом 23-03-2003 «Защита от шума».

Проектирование и контроль

Для проектирования и контроля снижения шума от работы СВКВ первостепенное значение имеют следующие мероприятия и средства:

1) компоновочные решения;
2) уменьшение скоростей движения воздуха в системе;
3) установка глушителей шума (активных, камерных и смешанного типа) в воздуховодах;
4) применение звукоизоляции и виброизоляции источников шума;
5) применение звукопоглощения в помещениях.

При разработке компоновочных решений необходимо руководствоваться следующими правилами.

1. Избегать обслуживания одной машиной нескольких ответственных по шуму помещений, расположенных на существенно различных расстояниях от вентилятора.
2. Предусмотреть при компоновке СВКВ места для звукоизолирующего помещения для машины, для установки глушителей и для виброизолирующих устройств.
3. Обеспечить воздухообмены в помещениях рациональной компоновкой СВКВ таким образом, чтобы избежать излишних запасов подачи воздуха.

Для снижения уровней шума СВКВ необходимо стремиться к уменьшению скоростей движения воздуха в системе до минимально возможных значений. При скоростях движения воздуха в магистралях системы до 15 м/с (в ответвлениях – до 6 м/с) генерация шума машинами незначительна и без особых трудностей может быть еще уменьшена в случае необходимости с помощью глушителей шума. Генерация же шума в самой системе воздуховодов, арматуре и воздухораспределителях, при указанных скоростях и коэффициенте местного сопротивления (безразмерная величина потерь напора) менее пяти, практически отсутствует.

Главным специальным средством снижения воздушного шума СВКВ являются глушители шума (активные, камерные и смешанного типа), которые должны применяться в соответствии с нормативными и методическими документами, научно-технической литературой и стандартами [6,7,8,9,10,13,14]. Располагать глушители шума рекомендуется в непосредственной близости к машинам и другим источникам генерации шума или перед выпускным отверстием воздуховода.

Машины рекомендуется обеспечивать необходимой звукоизоляцией и виброизоляцией в соответствии с нормативными и методическими документами, научно-технической литературой и стандартами [6,10]. Лучшим способом звукоизоляции машины является помещение её в специальное звукоизолирующее помещение (венткамеру) со звукопоглощающей облицовкой изнутри. Машины должны быть установлены на виброизоляторах (амортизаторах) для предотвращения распространения структурного звука на несущие конструкции и далее в другие помещения. Между машиной и воздуховодом следует применять гибкие вставки для предотвращения дополнительной передачи по ним структурного звука в вентилируемое помещение. В необходимых случаях воздуховоды рекомендуется крепить к несущим конструкциям через виброизолирующие подвесы. Для снижения шума от работы СВКВ в вентилируемом помещении полезно увеличивать звукопоглощающие свойства помещений. Уровень воздушного шума вокруг воздуховодов прямоугольного сечения, как правило, значительно выше, чем для аналогичных цилиндрических воздуховодов.

Большое практическое значение имеет контроль полученного результата путем измерения фактического уровня шума в расчетных точках. Фактические значения должны быть меньше значений норм допустимого шума. Отладка и доработка мероприятий и средств снижения шума СВКВ для получения необходимого эффекта снижения шума оптимальным способом (минимальные затраты средств, материалов и времени при наивысшем качестве) производится в соответствие с национальными и международными стандартами и нормативными документами. Аэродинамическое и акустическое регулирование построенных СВКВ следует производить совместно, добиваясь наименьших уровней шума при подаче заданного количества воздуха. Конечные результаты рекомендуется оформлять в виде графика расчетных, фактических и нормативных уровней шума СВКВ в заданных помещениях.

Пример акустического расчета вентиляции для местных радио и телестудий

С укреплением местного самоуправления радиовещательные и телевизионные студии появляются в огромной России в массовом порядке, приобретая принципиальное значение для развития гражданского общества и улучшения в связи с этим жизни людей. Одним из главных качеств таких студий является их хорошая акустика. Она складывается из необходимой звукоизоляции ограждающих конструкций и рекомендуемого времени реверберации пространства студии. То и другое нормируется СНиПом 23-03-2003 «Защита от шума» [14]. Должное внимание при этом следует уделять расчету снижения шума, создаваемого системой вентиляции, не вошедшему пока в указанный СНиП. Схема вентиляции типовой местной телерадиостудии представлена на рис. 1.

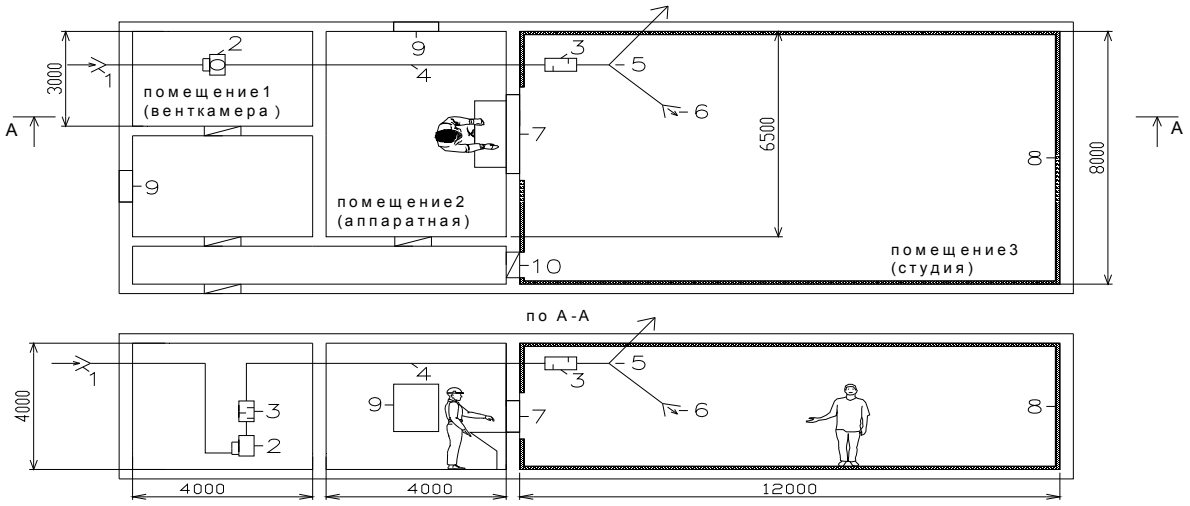


Рисунок 1. Схема вентиляции типовой местной телерадиостудии
1 – впускное отверстие; 2 — вентилятор; 3 – глушитель шума; 4 – воздуховод; 5 – тройник; 6 — выпускное отверстие; 7 – просмотровое окно режиссера [6]; 8 – звукопоглощающая облицовка; 9 — окно-стеклопакет; 10 – двойная дверь с вентиляционной решеткой [6]

Итак, выполним акустический расчет низкоскоростной системы вентиляции комплекса помещений типовой местной телерадиостудии, обеспечив в них выполнение норм допустимого шума. Для этого необходимо произвести расчет уровней звукового давления для трех помещений высотой 4 м со следующими размерами пола: 4х3 м (помещение 1, где установлена машина-вентилятор; $S_П = 80\,м^2$, $V = 48\,м^3$), 4х6,5 м (помещение 2, через которые воздуховод проходят транзитом; $S_П = 136\,м^2$, $V = 104\,м^3$) и 12х8 м (помещение 3, обслуживаемое системой; $S_П = 352\,м^2$, $V = 384\,м^3$). По назначению: помещение 1 – венткамера, помещение 2 – аппаратная с естественной вентиляцией, помещение 3 – телерадиостудия с принудительной вентиляцией. Звукоизоляция помещений студии от внешних шумов обеспечена. Другие исходные данные даны ниже в ходе расчета. Первоначальные конструктивные данные принимаются исходя их технического задания на проектирование указанных помещений.

Решение представлено в следующих таблицах.

Таблица 3. Помещение 1, где установлена машина (венткамера). Октавные полосы f

Составляющие акустического расчета	Наименование расчетной величины	Формула расчета (откуда берется Значение)	125 Гц	500 Гц	2000 Гц
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1. Вентилятор типа 16/6,3 ЦСУ в центре камеры	УЗМ, излучаемый корпусом, L_{WM}, $дБ$	Из техдокументации на вентилятор	56	62	56
2. Помещение венткамеры при $\chi = 1, \Omega = 2\pi, \Phi = 1$	Коэффициент κ_1	СНиП 23-03-2003. Табл.4 для $\alpha_П$ (см. ниже)	1.0	1,25	1,43
Влияние помещения венткамеры на шум на рабочем месте при $r_1 = 2\,м$	Средний коэффициент звукопоглощения $\alpha_П$	Из техдокументации на помещение	0.1	0,2	0,3
	Постоянная звукопоглощения помещения, $Q_1, м^2$	$Q_1 = \dfrac{\alpha_П S_П}{1 - \alpha_П}$	8,9	20.0	34.3
$\Delta L_1, дБ$	$\Delta L_1, дБ$	$\Delta L_1 = 10 lg\left(\dfrac{1}{2\pi\, r_1^2} + \dfrac{1}{\kappa_1 Q_1}\right)$	- 8	-11	- 12
3. Результаты расчета для уровня шума на рабочем месте венткамеры при $r_1 = 2\,м$ и $t_Ф\sigma = 5\ дБ$	УЗД, в расчетной точке венткамеры $L_1, дБ$	$L_1 = L_{WM} + t_Ф\sigma + \Delta L_1$	53	56	49
Норма шума в венткамере для постоянного рабочего места	$L_{H1}\ дБ$	СНиП 23-03-2003. Раздел 6 пункт 4	87	78	73
Превышение нормы			нет	нет	нет
4. Вентилятор типа 16/6,3 ЦСУ, воздуховод Нагнетания	УЗМ, излучаемый в воздуховод нагнетания венткамеры, $L_{WH1}\ дБ$	Из техдокументации на вентилятор	87	74	67
5. Глушитель шума типа ГЦ, 5 калибров, ППУ40-08С в воздуховоде нагнетания венткамеры	Потери звуковой мощности в глушителе $(\delta_0 L_W)_1, дБ$	Из техдокументации на глушитель	8	20	20
6. Цилиндрический воздуховод в венткамере	УЗМ, излучаемый воздуховодом в аппаратную, $L_{WH2}\ дБ$	$L_{WH2} = L_{WH1} - (\delta_0 L_W)_1$, $дБ$	79	54	47

Таблица 4. Помещение 2, через которое воздуховод проходит транзитом (аппаратная)

1	2	3	4	5	6
1. Цилиндрический воздуховод в аппаратной от стены до стены с диаметром и толщиной стенок: $D = 200\,мм,\ s = 1\,мм$					
а)	УЗМ в начале воздуховода аппаратной $L_{WH2}, дБ$	Из таблицы 1П, пункт 6.	79	54	47
б)	Звукоизоляция R_B, $дБ$ стенок воздуховода из стали с $E = 2{,}1.10^{11}\,Па$, $\frac{D}{s} = 200$,	$R_T = 10\,lg\,E - 20\,lg\left(\frac{D}{s}\right) - 16\,lg\,f + 32$	66	56	46
2. Помещение аппаратной при $\chi = 1,\ \Omega = \pi,\ \Phi = 1$					
а)	Коэффициент κ_2	СНиП 23-03-2003 Табл.4 для $\alpha_П$ (см. ниже)	1,00	1,25	1,43
б)	Средний коэффициент звукопоглощения $\alpha_П$	Из техдокументации на помещение	0,1	0,2	0,3
в)	Постоянная звукопоглощения аппаратной, $Q_2, м^2$	$Q_2 = \frac{\alpha_П S_П}{1 - \alpha_П}$	15,1	34,0	58,3
г) Влияние помещения аппаратной на шум на рабочем месте при $r_2 = 3\,м$	$\Delta L_2, дБ$	$\Delta L_2 = 10\lg\left(\frac{1}{\pi\ r_2^2} + \frac{4}{\kappa_2\ Q_2}\right)$	- 5	- 9	- 11
3. УЗД от трубы воздуховода на рабочем месте в аппаратной при $l = 4\,м$ и $t_Ф\sigma = 5\,дБ$ $10\lg\frac{4l}{D} = 19\,дБ$	$L_T, дБ$	$L_T = L_{WH2} + t_Ф\sigma - R_T + \Delta L_2 + 10\lg\frac{4l}{D}$	32	13	14
4. Результаты расчета уровня шума в аппаратной от шума стены помещения радио и телестудии при $S_{CT} = 4x6{,}5 = 26\,м^2$					
а) Максимальная звуковая мощность источника в помещении радио и телестудии	$L_{W\,PTC}, дБ$	Из техзадания	100	100	100
б) Влияние помещения на шум на рабочем месте при	Влияние помещения на звуки источника ($Q_Ф$ - см. таблицу 3 П.)	$\Delta L_3 = 10\lg\left(\frac{1}{2\pi\ r_3^2} + \frac{1}{\kappa_3\ Q_Ф}\right)$	-13	-14	-13

$\chi = 1,\ \Phi = 1,\ \Omega = 2\pi,$ $r_3 = 2\,м$	$\Delta L_3, дБ$				
в) Звукоизоляция стены между аппаратной и радио и телестудией – кирпичная кладка толщиной 255 мм со смотровым окном со звукоизоляцией не меньшей величины	$R_{CT,}\ дБ$	Из техдокументации на помещение	41	48	65
г) Влияние диффузной составляющей помещения аппаратной	$\Delta L_{2д}, дБ$	$\Delta L_{2д} = 10\lg\left(\frac{4}{\kappa_2 Q_2}\right)$	-6	-10	-13
д) УЗД, от излучения шума стеной радио и телестудии на рабочем месте в аппаратной	$L_{CT2}, дБ$	$L_{CT2} = L_{W\,PTC} + \Delta L_3 + 10\lg S_{CT} + \Delta L_{2д} - R_{CT}$	54	42	21
5. УЗД суммарного шума в аппаратной от воздуховода и от стены студии на рабочем месте в аппаратной при $\varepsilon = 5\,дБ$ °[12]	$L_A, дБ$	$L_A + 10\lg\left(10^{0,1L_T} + 10^{0,1L_{CT2}}\right) + \varepsilon$	59	47	27
Норма шума в аппаратной (для измерительных и аналитических работ)	$L_H\ дБ$	СНиП 23-03-2003 Раздел 6 пункт 1	70	58	52
Превышение нормы			нет	нет	нет
6. Потери звуковой мощности на прямолинейном участке	$(\delta_1\ L_{WH2})l_2\ , дБ$	$\delta_1\ L_{WH2}$ из таблицы 2., l_2 = 4 м	0,40	0,64	0,88
7. Цилиндрический воздуховод в аппаратной	УЗМ, излучаемой в воздуховод нагнетания студии, $L_{WH3}\ дБ$	$L_{WH3} = L_{WH2} - (\delta_1 L_{WH2})l_2\ , дБ$	79	53	46

Таблица 5. Помещение 3, обслуживаемое системой (телерадиостудия)

1	2	3	4	5	6
1. Воздуховод нагнетания на входе в студию	УЗМ, излучаемой в воздуховод студии	Из таблицы 2 П, пункт 7. $L_{WH3}, дБ$	79	53	46
2. Тройник. Ветвь в студию с $S_1 = \frac{1}{10}S$ =3140°мм^2, где $S = S_1 + S_2$ — площадь воздуховода до тройника	Потери звуковой мощности в сечении S_1, $(\delta_2 L_{WH2})_1\ дБ$	$(\delta_2 L_{WH2}) = 10\lg\left[\frac{S}{S_1}\right]$	10	10	10
3. Помещение, обслуживающее системой. $V_3 = 384\,м^3, S_П = 352\,м^2,$ $S_{ПОЛА} = 96\,м^2,\ r = 2м$					

а) T_3, c	Время реверберации T_3, c	Из техзадания T_3, c	0,64	0,8	0,96
б) $Q_3, м^2$	Постоянная з.п.ш. помещения, $Q_3, м^2$	$Q_3 = \frac{0{,}16 V_3}{T_3}$	96,0	76,8	64,0
в) α_{CP}	Средний коэффициент з.п.щ.. помещения (не меньше)	$\alpha_{CP} = \frac{Q_3}{S_П}$	0,27	0,22	0,18
г) Выбранные плиты ПА/Д с воздушной прослойкой 100 мм – коробка в коробке	Средний коэффициент з.п.ш. помещения (по факту)	$\alpha_{CP\,ф.}$	0,25	0,40	0,20
д) Выбранная постоянная звукопоглощения (по факту)	$Q_Ф, м^2$	$Q_Ф = \frac{\alpha_{CP\,ф} S_П}{1 - \alpha_{CP}}$	117	235	88
е) Выбранные значения коэффициента нарушения диффузности (по факту)	κ_3	СНиП 23-03-2003 Табл . 4. для $\alpha_{CP\,ф.}$	1,30	1,60	1,25
ж) Влияние помещения при $\chi = 1,\ \Phi = 1,\ \Omega = \pi,$ $r_3 = 2\,м$	Влияние помещения на шум от вентиляции $\Delta L_{3\,РТС}, дБ$	$\Delta L_{П3\,РТС} = 10\lg\left(\frac{1}{\pi\, r_3^{\,2}} + \frac{4}{\kappa_3\, Q_Ф}\right)$	-9,7	-10,4	- 9,4
4. Поправка на внезапное расширение выхода при $\sqrt{S_1} = 56\,мм$	Отражение звука на выходе, $\Delta L_0, дБ$	С помощью таблицы 1	23,0	11,5	3,0
5. УЗД шума в радио и телестудии от СВ. Результаты расчета при $K_0 = 5\,дБ$ и при $\varepsilon = 10\,дБ$ [12]	УЗД в расчетной точке, $L_3, дБ$	$L_3 = L_{WH3} - (\delta_2 L_{WH2}) + \Delta L_{П3\,РТС} - \Delta L_0 + K_0 + \varepsilon$	51	36	39
Норма шума в студии	$L_{H3}, дБ$	СНиП 23-03-2003. Раздел 6 пункт 7 (для системы вентиляции — 5 дБ)	47	34	27
Превышение нормы			4	2	12
6. Установка второго глушителя типа ГЦ 3 калибра , ППУ 40-08 С в воздуховоде студии перед тройником	Потери звуковой мощности в глушителе $(\delta_0 L_{WH1})_2, дБ$	Из техдокументации на глушитель	5	12	16
7. Окончательный результат	УЗД в расчетной точке, $L_3, дБ$	$L_3 = L_{WH3} - (\delta_2 L_{WH2}) + \Delta L_{П3\,РТС} - \Delta L_0 + K_0 + \varepsilon$ - $(\delta_0 L_{WH1})_2$	46	24	23
Превышение нормы		$L_3 < L_{H3}$	нет	нет	нет

Заключение

Акустический расчет системы вентиляции и кондиционирования в современных зданиях необходим для выбора исходных средств защиты людей от шума, создаваемого системой. Эти средства должны соответствовать лучшему отечественному и зарубежному опыту в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий. Окончательное акустическое решение производится по результатам акустических измерений уже построенной СВКВ, измерений, проводимых согласно действующим национальным или международным стандартам [10]. Предлагаемый выше акустический расчет апробирован, в частности, студентами пятого курса по дисциплине «Строительная акустика» (лектор д.т.н. профессор И.И. Боголепов) в курсовых проектах на кафедре «Технология, организация и экономика строительства» (ТОЭС) инженерно-строительного факультета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Литература

1. Боголепов И.И. Современные способы борьбы с шумом в зданиях и на селитебных территориях // Инженерно-строительный журнал, № 2, 2009. СПб, 2009. С. 45-49.
2. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М., 1957.
3. Исакович М.А. Общая акустика. М., 1973.
4. Справочник по судовой акустике / Под ред. И.И. Клюкина и И.И. Боголепова. Л., 1978.
5. Хорошев Г.А., Петров Ю.И., Егоров Н.Ф. Борьба с шумом вентиляторов. М.,1981.
6. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. Теория, исследования, проектирование, изготовление, контроль / Предисловие академика АН СССР И.А. Глебова. Л., 1986.
7. Изак Г.Д., Гомзиков Э.А. Шум на судах и методы его снижения. М., 1987.
8. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Под ред. Г.Л. Осипова и Е.Я. Юдина. М., 1987.
9. Звукоизоляция и звукопоглощение. Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Промышленное и гражданское строительство» и «Теплогазоснабжение и вентиляция» / под ред. Г.Л.°Осипова и В.Н. Бобылева. М., 2004.
10. Боголепов И.И. Строительная акустика / Предисловие академика РАН Ю.С. Васильева. СПб, 2006.
11. Сотников А.Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. Теория, техника и проектирование на рубеже столетий. СПб, 2007.
12. Боголепов И.И. Новый метод акустического расчета системы вентиляции и кондиционирования воздуха // С.О.К. (сантехника, отопление, кондиционирование), № 2/74, 2008. М., 2008. С. 110-117.
13. Строительные нормы и правила. СНиП II-12-77 «Защита от шума». Утверждены постановлением Государственного комитета Совета Министров СССР по делам строительства от 14 июня 1977 г. № 72. М., 1997.
14. Строительные нормы и правила СНиП 23-03-2003 «Защита от шума». Дата введения 2004-01-01. Разработаны Научно-исследовательским институтом строительной физики (НИИСФ) РААСН, внесены Управлением технического нормирования, стандартизации и сертификации в строительстве и ЖКХ Госстроя России, приняты и введены в действие постановлением Госстроя России от 30 июня 2003г. № 136, взамен СНиП II-12-77 «Защита от шума». Устанавливают обязательные требования, которые должны выполняться при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий различного назначения, планировке и застройке населенных мест с целью защиты от шума и обеспечения нормативных параметров акустической среды в производственных, жилых, общественных зданиях и на территории жилой застройки.
15. Боголепов И.И., Лапшина О.В., Окладникова О.Н. О повышении надежности звукоизоляции инженерных систем и строительных конструкций // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад, № 1 (33), 2008. СПб, 2008. С. 76-81.

**Игорь Ильич Боголепов, ГОУ СПбГПУ, ГОУ СПбГМТУ, Санкт-Петербург*

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

Энергосбережение в тепловых сетях за счет параметров теплоносителя

Аспирант О.В. Аверьянова*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Все чаще и чаще в последнее время, а особенно в связи с экономическим кризисом можно услышать слова энергоэффективность, энергосбережение.

Важность энергоэффективности и её значение для окружающей среды были подчеркнуты в Энергетической Хартии – политической декларации 1991 года. Это единственное в своем роде соглашение, касающееся межправительственного сотрудничества в энергетическом секторе, охватывающее всю энергетическую производственно-сбытовую цепочку (от разведки до конечного использования) и все энергетические продукты и связанное с энергетикой оборудование. Декларация является чётким выражением принципов, которые должны стать фундаментом международного сотрудничества в энергетике на основе общей заинтересованности в надёжном энергоснабжении и устойчивом экономическом развитии.

Принятый позднее Договор к Энергетической Хартии, в частности, его Статья 19, требует, чтобы страны-члены стремились сводить к минимуму экономически эффективными методами вредное воздействие на окружающую среду, являющееся результатом связанной с энергетикой деятельности на их территории.

В советское время в стране были реализованы программы централизации энергоснабжения – строительство мощных тепловых, гидравлических и атомных электростанций, электрических и тепловых сетей от них, развитие топливной промышленности. Централизованное теплоснабжение представляет собой процесс обеспечения низкопотенциальной теплотой нескольких отдельно стоящих потребителей от одного источника. В технологическом плане ЦТ представляет собой единовременный триединый процесс, состоящий из производства тепловой энергии, транспортирования ее и потребления. Такой сложный процесс имеет две характерные особенности, которые не всегда правильно или вовсе не учитываются в процессе строительства и дальнейшей эксплуатации объектов энергообеспечения. С одной стороны, ЦТ – целенаправленный и непрерывный процесс воздействия на человека, который имеет форму услуги, а с другой стороны, этот процесс имеет характер промышленного производства, продуктом которого является тепловая и электрическая энергия. Человечество не научилось пока аккумулировать в промышленных масштабах энергию, также как и накапливать услугу. Все это производится в единовременном процессе и на ограниченном пространстве. Главным потребителем и организатором оказания услуг жизнеобеспечения изначально и по настоящее время является ЖКХ. Наиболее сложной, дорогой и ресурсоемкой отраслью в комплексе ЖКХ является коммунальная энергетика, обеспечивающая коммунальное электро- и теплоснабжение населения.

В условиях рыночной экономики, снижения жизненного уровня и платежеспособности населения появилась негативная тенденция к волевому разделению единого технологического процесса теплоснабжения, созданию «дочерних», ни за что не отвечающих, коммерческих структур, что неизбежно вызвало безответственность в качестве обслуживания, введение температурных ограничений в энергоснабжении. Поэтому в данный момент встал вопрос о замене централизованного теплоснабжения индивидуальным теплоснабжением. Но будет ли это выгодно с точки зрения энергоэффективности и энергосбережения? Попробуем разобраться.

Для этого необходимо рассмотреть процессы, проходящие в тепловых сетях, с точки зрения теплопотерь.

Все термодинамические процессы осуществляются в соответствии со вторым законом термодинамики на температурном перепаде T_1-T_2:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где T_1 – температура рабочего тела в начале процесса-цикла, ^{0}C;
T_2 – температура рабочего тела в конце процесса-цикла, ^{0}C.

Это означает, что чем ниже T_2, тем более эффективно будет использоваться энтальпия – теплосодержание пара в подогревателях, тем выше будет коэффициент полезного использования топлива, тем ниже расходы сетевой воды и затраты энергии на перекачку теплоносителя.

Поэтому вполне объяснимо стремление поднять T_1 как можно выше и опустить T_2 как можно ниже. Но если понижение T_2 снизу ограничено значениями температуры окружающей среды, то повышение T_1 зависит от успехов развития термостойкого материаловедения.

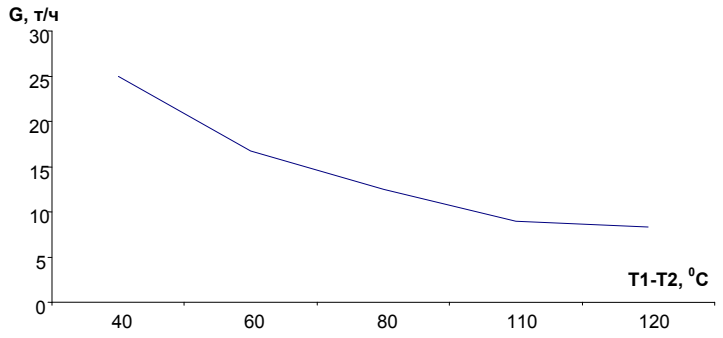


Рисунок 1. График зависимости расхода теплоносителя от температурного перепада

Эту тенденцию можно проследить на примере развития теплофикации в СССР. Первые теплофикационные установки проектировались на температурный перепад теплоносителя 110-70^{0}С, расход теплоносителя – 25т/ч на 1 Гкал. Затем в послевоенные годы перешли на график 130-70^{0}С, расход теплоносителя – 16,7т/ч на 1 Гкал, а начиная с 1960-х годов – на график 150-70^{0}С, расход теплоносителя – 12,5т/ч на 1 Гкал. В 1980-1990-х гг. уже обсуждался вопрос перевода теплофикационных систем на график 180-190-70^{0}С с расходом теплоносителя 9-8,3т/ч на 1 Гкал.

Важнейшей функцией тепловых сетей является доведение произведенной на теплоисточниках теплоты до потребителя наиболее надежным и экономичным образом. Для выполнения ее сооружают трубопроводные системы, хорошо изолированные тепловой изоляцией, защищенные от внешнего воздействия и повреждений, оснащенные запорной и регулирующей арматурой, средствами автоматики и учета теплоты и теплоносителей. Но в связи с тем, что тепловые сети прокладываются до потребителей через среду, температура которой значительно отличается от температуры T_1 и T_2, то возникают значительные теплопотери, на компенсацию которых требуются дополнительные затраты топлива.

Пусть стена трубы толщиной δ_1 выполнена из материала с коэффициентом теплопроводности λ_1. Труба покрыта изоляцией толщиной δ_2 с коэффициентом теплопроводности λ_2. Труба внутри омывается водой с температурой T1, а снаружи средой с температурой $t_{нар}$. Интенсивность теплообмена сред и поверхностей α_1 и α_2 (рис. 2).

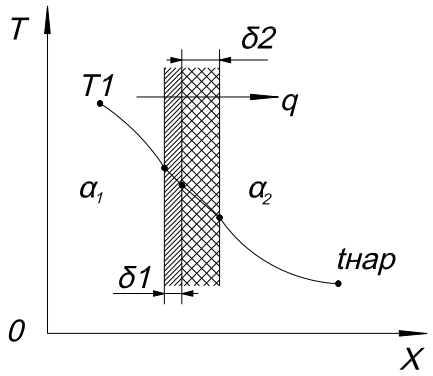


Рисунок 2. Стенка трубопровода; справа внешняя среда, слева вода

Рассматривая стационарный режим, напишем уравнение:

$$q = \frac{T_1 - t_{нар}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м^2.

Как видно из этого уравнения, зависимость бесполезных тепловых потерь от температуры воды носит линейный характер.

То есть чем выше T_1, тем больше будут теплопотери и, соответственно, тем больше необходимо топлива. Но с другой стороны, будет уменьшаться расход сетевой воды, уменьшаться капитальные вложения вследствие уменьшения диаметра трубопроводов, уменьшения типоразмеров насосов и арматуры.

Пусть имеется потребитель, которому необходимо количество тепла Q. Рассмотрим несколько графиков:

1) 80-60^{0}С – ΔT=20^{0}С
2) 90-70^{0}С – ΔT=20^{0}С
3) 110-70^{0}С – ΔT=40^{0}С
4) 120-70^{0}С – ΔT=50^{0}С

Количество теплоносителя будет равно:

$$G = \frac{Q}{\Delta T}, \text{ кг/ч}$$

где Q – количество тепла, ккал/ч;
ΔT – температурный перепад, ^{0}С.

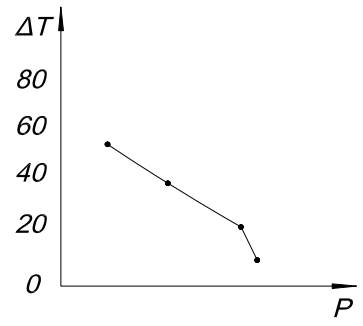


Рисунок 3. Зависимость затрат на сооружение тепловых сетей от температурного перепада

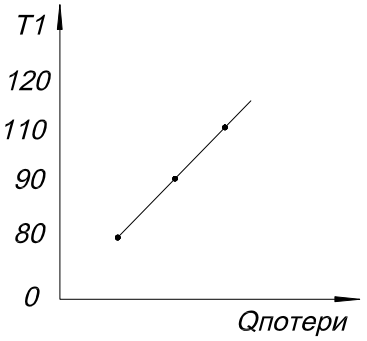


Рисунок 4. Зависимость теплопотерь от температуры теплоносителя

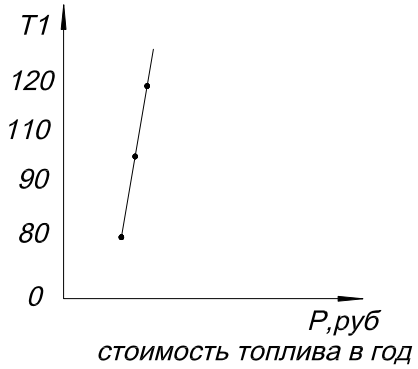


Рисунок 5. Зависимость затрат на топливо от температуры теплоносителя

В связи с тем, что у первых двух графиков температурный перепад одинаковый, то количество теплоносителя G_1 кг/ч и G_2 кг/ч также одинаково и трубопроводы применяются одинакового типоразмера, потери давления по длине трубопроводов одинаковые.

Для остальных вариантов температурных перепадов G_3 кг/ч и G_4 кг/ч будут разными, причем $G_4 < G_3 < G_2$ ($G_2 = G_1$). Значит, типоразмеры трубопроводов будут тоже различны, причем $øN_4 < øN_3 < øN_2$ ($øN_2 = øN_1$). Следовательно, потери давления по длине трубопроводов будут $\Delta p_4 < \Delta p_3 < \Delta p_2$ ($\Delta p_2 = \Delta p_1$). Это приведет к уменьшению типоразмера насосного оборудования с увеличением температурного перепада. Если обозначить P_1 капитальные вложения, состоящие из стоимости трубопроводов и насосного оборудования, для первого температурного графика, P_2, P_3 и P_4 соответственно для второго, третьего и четвертого графиков, то можно увидеть следующую зависимость: затраты на сооружение тепловых сетей с ростом температурного перепада теплоносителя уменьшаются (рис. 3).

Но количество теплопотерь, которое линейно зависит от температуры теплоносителя (рис. 4), с ростом температурного перепада возрастает.

Предположим, что самый экономичный и надежный способ транспортировки теплоносителя к потребителю согласно второму закону термодинамики будет происходить при четвертом варианте температурного перепада, при котором капитальные вложения минимальны. Но затраты в год на топливо самые большие.

При каком же температурном перепаде капитальные затраты на сооружение тепловых сетей быстрее всего окупятся?

Очевидно, что окупаемость затрат на сооружение тепловых сетей зависит в первую очередь от температуры самого теплоносителя и во вторую очередь от его температурного перепада. Это связано с тем, что капитальные затраты на сооружение тепловых сетей при T_1 лежащей в области от 90^0C и ниже отличаются незначительно либо равны, а затраты на топливо ощутимо меньше. В то время как затраты на сооружение тепловых сетей при T_1 лежащей в области от 90^0C и выше хотя и уменьшаются, но затраты на топливо при этом ощутимо увеличиваются.

Проиллюстрируем это на конкретном примере. Трубопроводы будем использовать стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке по ГОСТ 30732-2001, теплопроводность стали λ_1=50 Вт/мК, теплопроводность изоляции λ_2=0,025 Вт/мК.

Как видно из табл.1, небольшие тепловые пункты, которые будут производить теплоноситель с температурой ниже 90°С, более энергоэффективны по сравнению с центральным теплоснажением. То есть при такой схеме теплоснабжения очевидна экономия энергоресурсов и их эффективное использование.

Таблица 1.

Q, кВт	**500**	**500**	**500**	**500**
T_1-T_2, ^{0}C	80-60	90-70	110-70	120-70
G, кг/ч	21496,13	21496,13	10748,06	7165,37
Диаметр трубопровода	Ø108x3,2	Ø108x3,2	Ø89x3,0	Ø76x3,0
Длина сети, м	500	500	500	500
δ_1, м	0,1016	0,1016	0,083	0,07
δ_2, м	0,033	0,033	0,0325	0,029
λ_1, Вт/мК	50	50	50	50

λ_2, Вт/мК	0,025	0,025	0,025	0,025
q, Вт/м^2	54,588	61,498	76,373	100,218
Qпотери, Вт	8707,5	9809,7	9952,2	11014,01
Qполн, Вт	508707,5	509809,7	509952,2	511014,01
Потери напора, Па/м	65	65	50	55
Общие потери, Па	32500	32500	25000	27500
Стоимость насоса, руб.	30770,00	30770,00	26105,00	22927,00
Стоимость трубопровода в ППУ, руб/м.п.	900,84	900,84	764,56	626,32
Стоимость трубопроводов, руб.	450420,00	450420,00	382280,00	313160,00
Всего капитальные затраты, руб.	481190,00	481190,00	408385,00	336087,00
Газ за период, м^3	150405	150730	150759	151088
Стоимость газа*, руб/1000м^3	3854,00	3854,00	3854,00	3854,00
Стоимость газа, руб.	579660,87	580913,42	581025,18	582293,15
Разница в капитальных затратах, руб.**	145103,00	145103,00	72298,00	0
Экономия в год на топливе*, руб**	2632,28	1379,7	1267,9	0
Окупаемость*, лет**	55,1	105,1	57,01	0

* - по данным Правительства Москвы на 1 апреля 2009г

** - в сравнении с затратами на сооружение тепловых сетей при температурном перепаде 120-70^{0}С

*** - в сравнении с тепловыми сетями, работающими на температурном перепаде 120-70^{0}С

Литература

1. Договор к энергетической хартии и связанные с ним документы // Энергетическая хартия. http://www.encharter.org/fileadmin/user_upload/document/RU.pdf
2. Гусев В.М., Ковалев Н.И., Попов В.П., Потрошков В.А. Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Учебник для вузов. – Л., 1981.
3. Варфоломеев Ю.М., Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети: Учебник для вузов. – М., 2007.
4. Богословский В.Н., Крупнов Б.А., Сканави А.Н. и др. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч.1. Отопление. – М., 1990.
5. Каталог Grundfos «Насосы с патрубками в линию ин-лайн».

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

Экономический анализ использования энергоэффективных источников света с точки зрения потребителя

К.т.н., доцент А.С. Горшков*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет;
доцент И.А. Войлоков,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

В соответствии с последней редакцией законопроекта «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности» (готовится ко второму чтению в Государственной Думе, принят в первом 21.11.2008) в Российской Федерации будет введен запрет на производство и оборот ламп накаливания большой мощности. По словам министра экономического развития Эльвиры Набиуллиной, запрет может быть введен уже с 1 января 2011 года.

Целью такой меры является реализация программы энергосбережения, заявленной руководством страны в качестве одного из приоритетных направлений экономического развития России на ближайшие годы. Действительно, в масштабах страны энергосберегающий эффект от внедрения источников света с меньшей мощностью при условии, что световые характеристики (световой поток) сравниваемых источников света равны или близки, не вызывает сомнений.

Энергоэффективность (уменьшение затрат энергии на освещение) ΔE за счет замены традиционных источников освещения на энергосберегающие может быть вычислена исходя из следующего выражения:

$$\Delta E = \frac{n \Delta N T}{1000}, \quad (1)$$

где n – количество замененных источников;

ΔN — разница в мощностях традиционного и энергосберегающего источников света [Вт];

T – рассматриваемый промежуток времени [час];

1000 – поправочный переводной коэффициент мощности из Вт в кВт.

Например, при замене одной лампы накаливания мощностью 60 Вт на энергосберегающую лампу мощностью 20 Вт ресурсом 15000 часов, будет сэкономлено

$$\Delta E = \frac{1 \cdot (60 - 20) \cdot 15000}{1000} = 600$$

кВт·час электроэнергии.

Однако заявленная реформа уже сейчас вызывает недовольство потребителей, поскольку в приказном порядке требует замены ламп накаливания на значительно более дорогие энергосберегающие. Для большинства потребителей по-прежнему именно цена изделия является определяющей. В то же время, нигде не дается понятного для потребителя расчета экономии при использовании энергосберегающих ламп.

Целью настоящего исследования является экономическое обоснование выбора среди наиболее распространенных типов осветительных устройств, полученное на основании сравнительного анализа мощности и стоимости изделий, стоимости электроэнергии, а также ресурса (эксплуатационного срока службы, долговечности) различных источников света. Уже сейчас многие граждане закупают лампы накаливания, рассчитывая в будущем на серьезную экономию. Обычному потребителю далеко не всегда понятно, как он может сэкономить на том, что мощность лампы меньше, а срок ее службы больше. Причем потребители – это не только население, но и предприятия, которых в первую очередь коснется запрет на лампы накаливания.

Ниже представлены расчеты, которые позволяют рассчитать затраты не только на покупку изделия, но и его эксплуатацию, а также сравнить различные типы осветительных устройств, отличающихся стоимостью, мощностью и ресурсом, что позволит выявить наиболее экономичный вариант лампы, используемой в быту.

Суммарные затраты S (в кВт·час энергии) от использования одного источника света вне зависимости от его типа для обычного потребителя бытовой электроэнергии складываются из цены изделия и эксплуатационных расходов при освещении:

$$S = \frac{N_{О.У.} \cdot T}{1000} + \frac{C_{О.У.}}{c_{ЭН}}, \quad (2)$$

где $N_{о.у.}$ – мощность осветительного устройства [Вт];

Т – ресурс (срок службы) [час];

1000 – поправочный переводной коэффициент мощности из Вт в кВт (необходим для соблюдения единой размерности);

$C_{о.у.}$ – стоимость рассматриваемого типа осветительного устройства [руб];

$c_{эн}$ – стоимость 1 кВт·часа электроэнергии [руб/кВт·час].

Все слагаемые в формуле (2) приведены в единицах энергии (в кВт·часах). Это обусловлено двумя причинами: во-первых, при таком подходе отпадает необходимость во введении дополнительных коэффициентов, учитывающих динамику повышения со временем стоимости электроэнергии (из-за инфляции и повышения стоимости энергоносителей), во-вторых, из-за различной стоимости электроэнергии для различных потребителей.

После вычисления по формуле (2) численного значения S, выраженного в единицах энергии, умножение полученного значения на стоимость электроэнергии позволит потребителю вычислить те же затраты, но в денежном выражении, т.е. в рублях.

Однако данные формулы (2) недостаточны для сравнения различных типов осветительных устройств. Анализ формулы показывает, что затраты S будут тем меньше, чем меньше мощность, ресурс и стоимость изделия при одинаковой стоимости электроэнергии. В этом случае обычные лампы накаливания ввиду их низкой стоимости и меньшего ресурса будут иметь преимущества по сравнению с энергоэффективными источниками света.

Рассмотрим это на следующем примере.

Пример 1.

Рассмотрим два типа наиболее востребованных осветительных устройств, используемых в обычных «комнатных» патронах типа Е-27. Рассматриваемые в примере источники освещения приобретены в магазине «Максидом» (г. Санкт-Петербург, Ленинский пр. — д. 103). Дата покупки: 05 июля 2009 года).

Тип 1 – лампа накаливания А55 мощностью 60 Вт, световой поток 710 Лм, производитель: фирма Phillips (пр-во: Польша), ресурс 1000 часов, стоимость – 18 руб.

Тип 2 – люминесцентная лампа 6EUS1025-E27 мощностью 20 Вт, световой поток 900 Лм, производитель: фирма Sholtz (пр-во: Германия), ресурс – 10000 часов, стоимость 179 рублей.

Стоимость единицы электроэнергии (одного кВт·часа) в Санкт-Петербурге для бытовых нужд составляет 2,31 руб (для потребителей с газовыми плитами).

Подставим данные численные значения в формулу (2). Получим:

$$S_1 = \frac{60 \cdot 1000}{1000} + \frac{18}{2{,}31} = 67{,}79\ (кВт \cdot час).$$

$$S_2 = \frac{15 \cdot 10000}{1000} + \frac{179}{2{,}31} = 227{,}49\ (кВт \cdot час).$$

Так как энергоэффективности соответствует минимум затрат S, то из примера 1 ошибочно следует вывод об экономической эффективности ламп накаливания. Ошибка обусловлена, в первую очередь тем, что за время работы лампы с ресурсом 10000 часов потребуется 10 ламп накаливания с ресурсом 1000 часов, которые потребителю необходимо будет единовременно или со временем, по мере выхода ламп из работоспособного состояния (их «перегорания»), приобрести, т.е. затратить по сравнению с более долговечным осветительным устройством дополнительно:

$$\Delta s = \frac{C_{О.У.}}{c_{ЭН}} \left(\frac{T_Б}{T_м} - 1 \right) \quad (3)$$

затрат на приобретение дополнительных осветительных устройств того же типа с меньшим (м) ресурсом.

В формуле (3) приняты следующие обозначения:

Δs – дополнительные затраты на покупку осветительных устройств с меньшим ресурсом, выраженные в единицах энергии [кВт·час];

$C_{о.у.}$ – стоимость осветительного устройства с меньшим (м) ресурсом [руб];

$c_{эн}$ – стоимость 1 кВт·часа электроэнергии [руб/кВт·час];

$T_б$ – срок службы сравниваемого осветительного устройства с бóльшим (б) ресурсом [час];

$T_м$ – срок службы сравниваемого осветительного устройства с меньшим (м) ресурсом [час].

Введение дополнительного слагаемого (3) в формулу (2) автоматически устранит различие во времени работы T, как это следует из примера 1, различных типов осветительных устройств (различающихся как раз сроком службы). В этом случае время работы T для всех сравниваемых типов осветительных устройств будет принято одинаковым и равным сроку службы сравниваемого осветительного устройства с бóльшим (б) ресурсом.

Учет слагаемого (3) в формуле (2) приведет к следующему выражению:

$$S = \frac{N_{О.У.} \cdot T_Б}{1000} + \frac{C_{О.У.}}{c_{ЭН}} \left(\frac{T_Б}{T_М} \right), \quad (3)$$

где $N_{о.у.}$ – мощность осветительного устройства [Вт];

$T_Б$ – срок службы осветительного устройства с наибольшим из всех сравниваемых типов ламп ресурсом [час];

1000 – поправочный переводной коэффициент мощности из Вт в кВт (необходимость обусловлена соблюдением единой размерности);

$C_{о.у.}$ – стоимость рассматриваемого типа осветительного устройства [руб];

$c_{эн}$ – стоимость 1 кВт·часа электроэнергии [руб/кВт·час];

$T_м$ – срок службы сравниваемого осветительного устройства с меньшим ресурсом [час].

С учетом полученного уточнения повторно рассмотрим пример 1. Подставим технико-экономические характеристики сравниваемых осветительных устройств в формулу (4). Результаты подстановки приведены в примере 2.

Пример 2.

Рассмотрим те же типы осветительных устройств, что и в примере 1, а именно:

Тип 1 – лампа накаливания A55 мощностью 60 Вт, световой поток 710 Лм, производитель: фирма Phillips (пр-во: Польша), ресурс 1000 часов, стоимость – 18 руб.

Тип 2 – люминесцентная лампа 6EUS1025-E27 мощностью 20 Вт, световой поток 900 Лм, производитель: фирма Sholtz (пр-во: Германия), ресурс – 10000 часов, стоимость 179 рублей.

Стоимость единицы электроэнергии в Санкт-Петербурге для бытовых нужд составляет 2,31 руб (для потребителей с газовыми плитами).

За основу сравнительного анализа выберем тип осветительного устройства с наибольшим ресурсом (тип 2), т.е. со сроком службы 10000 часов. В этом случае $T_Б$ для всех типов в формуле (4) будет равным 10000 часов.

Подставим скорректированные данные в формулу (4). Получим:

$$S_1 = \frac{60 \cdot 10000}{1000} + \frac{18}{2{,}31} \left(\frac{10000}{1000} \right) = 677{,}92 \left(кВт \cdot час \right).$$

$$S_2 = \frac{15 \cdot 10000}{1000} + \frac{179}{2{,}31} \left(\frac{10000}{10000} \right) = 227{,}49 \left(кВт \cdot час \right).$$

Результаты расчета показывают, что при учете всех составляющих эксплуатационных затрат на приобретение и эксплуатацию различных источников освещения **тип 2 (энергосберегающие источники света) осветительных устройств следует признать экономически более выгодным по сравнению с типом 1 (лампами накаливания).** Использование осветительного устройства типа 2 по сравнению с устройством типа 1 за одно и тоже время их эксплуатации экономит 677,92-227,49=450,43 кВт·час энергии, что в ценах на электроэнергию по состоянию на 05 июля 2009 года для потребителей Санкт-Петербурга составит 1040 рублей 49 копеек, которые с ростом цен на электроэнергию будут составлять более значительное численное выражение.

Данные, приведенные в примере 2, показывают, что вторые слагаемые в расчетах S_1 и S_2 практически совпадают. Это означает, что более высокая первоначальная стоимость энергосберегающих ламп компенсируется их более высоким ресурсом (долговечностью). Стоимость 10 ламп накаливания сравнима со стоимостью одной энергосберегающей лампы. Поэтому решающим фактором при оценке экономической эффективности является более низкая мощность энергосберегающей продукции и, как следствие, меньшее значение потребляемой ими электроэнергии.

Теоретические предпосылки повышения уровня энергоэффективности, достигаемого в результате замены ламп накаливания на энергосберегающие, подтверждаются при практической реализации данных мероприятия. В 2008 году компания «Космос» провела эксперимент по замене ламп накаливания на энергосберегающие в двух жилых домах Москвы [2]. Анализ резльтатов этого масштабного мероприятия показал, что в доме, оборудованном газовыми плитами расход электроэнергии снизился на 30-40 %, в доме, оборудованном электроплитами – на 11-15 %. Снижение установленной мощности в двух домах составило 178 кВт, что позволяет жителям каждый год экономить до 200 тыс. рублей и снизить общую нагрузку на подстанциях, к которым эти объекты подключены.

Что касается групп населения с низким доходом, для которых стоимость электроосветительного изделия остается определяющей, Гринпис России в качестве одной из мер, направленных на уменьшение потребления электроэнергии, рассматривает обеспечение энергосберегающими лампами граждан, получающих субсидии на оплату жилых и коммерческих услуг [3].

В рамках данного исследования не рассматривались некоторые технические вопросы, в частности:

1) соответствие декларируемого производителями и фактического ресурса (сроков службы) рассматриваемых типов источников света;
2) изменение светового потока сравниваемых источников света и, как следствие, освещенности и яркости по мере их эксплуатации и износа.

По методике, приведенной в данной статье, может быть рассчитана экономическая эффективность при других численных показателях, например, для ламп накаливания свыше 100 Вт, используемых на производстве.

Литература

1. Проект Федерального закона «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности», май 2009°г. // Энергосовет. Портал по энергосбережению. http://www.energosovet.ru/npb1183.html
2. А.В. Савельев. Итоги эксперимента по замене ламп накаливания на энергосберегающие в Москве // Энергосбережение, №4. М., 2008.
3. Семь предложений Гринпис России по рационализации потребления электроэнергии в Москве // Мировая энергетика, №1. М., 2009.

**Александр Сергеевич Горшков, Санкт-Петербург*

Тел. раб.: +7(812) 297-59-49

Эл. почта: alsgor@yandex.ru

Санкт-Петербургский зональный научно-исследовательский и проектный институт жилищно-гражданских зданий

ОАО «СПбЗНИиПИ», в недавнем прошлом ЛенЗНИИЭП, – это одна из старейших организаций города, работающих в области строительной науки и проектирования.

По проектам института построено множество различных объектов. География института – вся наша страна: Тикси, Билибино, Воркута, Мурманск, Надым, Новый Уренгой, Синегорье, Иркутск, Магадан, Нерюнгри, Северобайкальск, Якутск, а также Сахалин и Шпицберген (Баренцбург). Среди них и уникальные здания, и комплексы, для которых характерны градостроительный подход и оригинальность архитектурно-художественных, функциональных и конструктивных решений. Многие из них получили признание за рубежом.

Институт спроектировал множество уникальных зданий для нашего города, которые впоследствии стали визитной карточкой Петербурга. Это ДСИ «Зенит», спортивно-концертный комплекс (СКК) Петербургский (бывший Ленина), дворец спорта «Юбилейный», яхт- клуб на Петровской косе, гостиницы, станции метрополитена, ансамбли стрелки Выборгской стороны и площади Победы с памятником героическим защитникам Ленинграда. Следует отметить, что все вышеперечисленные проекты отличаются инновационными для своего времени решениями.

Также ЛенЗНИИЭП принял самое активное участие в формировании массовой застройки четырех районов Санкт- Петербурга и реконструкции исторической части города, что лишний раз доказывает большой потенциал института.

Опыт в возведении спортивных сооружений также был реализован во многих городах страны, а также за рубежом: в Будапеште и Берлине.

По проектам института построены сотни сельскохозяйственных зданий на северо-западе страны, жилые городки для военнослужащих в России и Белоруссии, здравницы на Карельском перешейке «Северная ривьера», «Дюны», «Белые ночи», «Балтиец». Возведенные на побережье Черного моря комплексы пионерских лагерей «Орленок», «Молодая Гвардия», «Небуг», а также «Океан» близ Владивостока не имеют аналогов в отечественной и мировой практике.

Сегодня основными направлениями деятельности института являются:

- градостроительное проектирование;
- проектирование большепролетных пространственных конструкций;
- технологическое проектирование общественных зданий и предприятий стройиндустрии;
- научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
- научно-техническая экспертиза;
- испытания по определению физико-механических свойств строительных материалов и изделий;
- обследования технического состояния зданий и сооружений.

Важнейшее место в деятельности института занимают научные исследования, опытные и экспертные работы, связанные с реализацией проектов разного назначения во всех без исключения районах страны, в том числе в условиях вечной мерзлоты и высокой сейсмичности.

Институт стоял у истоков исследований по вопросам дисперсного армирования с помощью различного рода фибр. Именно специалистами института была заложена база, которая с успехом применяется не только российскими, но и зарубежными учеными. Также большой вклад был сделан и в область развития технологий ячеистых бетонов.

В 1998 году на базе института был создан научно-технический центр «Технологии XXI века» во главе с д.т.н., профессором СПбГУ Кнатько М.В. Центр был призван заняться поставкой оборудования для производства работ по переработке загрязненных грунтов, вязко-пластичных и твердых дисперсных отходов производства, не утилизируемой части твердых бытовых отходов в строительные материалы. Также в центре разрабатываются гидроизоляционные материалы. Они являют собой пример успешного сочетания отраслевой науки, коммерческих и производственных мощностей.

В настоящее время институт готовится к осуществлению ответственной задачи по проектированию Международного Молодежного оздоровительного комплекса «Балтийский Артек» в Калининградской области и работает над проектом детского санаторно-оздоровительного комплекса «Камчия» в Болгарии.

По материалам института подготовил И.А. Войлоков

Использование материалов из гидролизованных алюмосиликатов глинистых пород для гидроизоляции зданий и сооружений

Д.т.н., зам. директора по науке М.В. Кнатько,
ОАО «Санкт-Петербургский зональный научно-исследовательский и проектный институт жилищно-гражданских зданий»;
к.т.н., старший научный сотрудник Е.В. Щербакова*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный университет;
к.в.н., зав. испытательной лабораторией М.Н. Ефименко,
ООО НТЦ «Технологии XXI века»

Увеличение высотности зданий, освоение подземного пространства в условиях уплотнительной застройки, строительство на слабых и обводненных грунтах – все это приводит к жесткому отбору в применении новых технологий и материалов.

Исторически основанный на болотистых территориях Санкт-Петербург находится в крайне неблагоприятных условиях для современного строительства. Грунты Санкт-Петербурга характеризуются тем, что с отметки дневной поверхности на глубину до 20 метров (а местами – и свыше 30) залегают слабые, водонасыщенные грунты. Поверхностные слои грунта города на 1-1,5м представлены загрязненными техногенными отложениями.

Вследствие несовершенства инженерного обеспечения исторической застройки, многократных ремонтных работ на вводах в дома инженерных сетей и прокладки новых нарушены гидроизоляция и гидрорежим фундаментов старых зданий. Это способствует их разрушению и переходу в аварийное состояние.

Весьма актуальным на сегодня для города является активное осваивание подземного пространства. В частности, обилие автотранспорта на улицах нашего города обусловило интерес инвесторов к строительству подземных гаражей и торгово-развлекательных комплексов, оборудованных подземными паркингами. Принципиально важным вопросом при возведении заглубленных и подземных сооружений в слабых водонасыщенных грунтах Санкт-Петербурга является обеспечение их надежной гидроизоляцией. В отличие от кровельной изоляции, легко доступной для осмотра и ремонта, гидроизоляция подземной части зданий и сооружений скрыта массивными элементами конструкций, различными элементами покрытий, засыпок и защитных слоев, что делает практически невозможным ее осмотр и ремонт. Следовательно, гидроизоляция должна быть надежной и долговечной, а качество изоляционных работ – безупречным.

Необходимость возведения гидроизоляционных и дренажных систем возникает также и при проведении инженерной подготовки территорий под гражданское и промышленное строительство. Данные работы проводятся с целью обеспечения проектируемого гидрорежима обустраиваемой и соседних территорий, решения экологических задач, рассмотрения возможности и особенностей использования применяемых строительных материалов в сложных геохимических условиях.

Все вышесказанное свидетельствует о чрезвычайно важной роли гидроизоляционных материалов и высоких требованиях к их качеству, характеристикам, стойкости к грунтовым условиям и, как следствие, к их долговечности (сроку службы).

Наиболее надежным и испытанным в строительной практике устройством гидроизоляции в течение многих веков считался «глиняный замок» — сплошной слой перемятой и уплотненной глины вокруг изолируемой конструкции. Для этих целей применяли жирные гидрослюдистые глины, содержащие не более 15% песка, используя повышение пластических свойств глины при взаимодействии с водой, а также способность пластичной глинистой массы (теста) принимать и сохранять любую приданную ей форму. Однако из-за низкой технологичности процесса в современном строительстве перемятая уплотненная глина не используется.

О сложности технологии изготовления глиняного замка говорит принятый еще во времена Петра I технологический регламент, в соответствие с которым исходное сырьё – глину – подвергали замачиванию для улучшения ее пластических свойств. Увлажненной глине давали вылежаться не менее 5 суток, не допуская ее пересыхания. Иногда в деревнях глину заготавливали с осени и оставляли на всю зиму лежать на открытом месте, чтобы она хорошенько размокла и выморозилась. Для получения однородной массы влажную глину переминали в специальных глиномялках, и только после этого полученную однородную, хорошо перемятую глину использовали для изготовления гидроизоляционного слоя (экрана). Регламентированная толщина «глиняного замка» составляла 1/2-3/4 аршина, т.е. 0,5-0,75 м. Изготовленные таким образом глиняные замки обладали высокими противофильтрационными свойствами с коэффициентами фильтрации, не превышающими 10^{-6} м/сут.

Применение технологии изготовления глиняного замка в современном строительстве наталкивается на целый ряд трудностей, основными из которых являются:

- невозможность помола карьерной комовой глины до получения тонкодисперсного глиняного порошка, с размером крупинок менее 1 мм;
- низкая технологичность процесса получения однородной обводненной глинистой массы требуемой консистенции из глинопорошка;
- сложность обеспечения сплошности покрытия и равномерности слоя глиняного теста, особенно при проведении гидроизоляционных работ на больших территориях, оцениваемых в несколько гектаров;
- отсутствие разработанных и проверенных на практике принципов пооперационной механизации работ при изготовлении глиняного замка.

На базе совместных разработок ОАО «СПбЗНИиПИ», ООО «НТЦ Технологии XXI века» и ГОУ СПбГУ были созданы новые виды гидроизоляционных материалов на основе гидролизованных алюмосиликатов глинистых пород. Предлагаемые гидроизоляционные материалы выпускаются под маркой ГУТГ – грунт укрепленный техногенный гидроизоляционный.

Гидроизоляционный материал ГУТГ производится в соответствии с разработанными техническими условиями (ТУ 5745-004-01422720-2007) на основе местных глинистых пород с включением небольшого количества специальных добавок, способствующих улучшению эксплуатационных свойств гидроизоляционного материала, в частности неразмываемости, водоустойчивости, а также повышению их адгезионных свойств и вяжущей способности. Для повышения прочностных свойств материала в состав ГУТГ вводятся полимерные или минеральные армирующие добавки в количестве от 0,1 до 0,5%.

Рисунок 1. «Испытательный центр» ОАО «СПбЗНИиПИ»

Существует несколько видов данного материала, предназначенных для разных целей.

Материал ГУТГ-О предназначен для устройства оснований, дополнительных слоев оснований и нижних слоев автомобильных дорог и аэродромов с разработкой соответствующих конструкций, оснований площадок индустриальных объектов, для формирования грунтовых массивов при рекультивационных работах.

Гидроизоляционный материал ГУТГ-Б предназначен для обустройства конструктивных слоев, а также геохимических барьеров.

Противофильтрационный материал ГУТГ-Ф предназначен для обустройства противофильтрационных экранов и завес.

Сотрудниками ОАО «СПбЗНИиПИ» были проведены испытания данных материалов на соответствие требованиям ГОСТов и СНиПов. Физико-механические характеристики материалов приведены в таблице°1.

Таблица 1. Физико-механические характеристики материала ГУТГ

Тип ГУТГ	Показатели физико-механических свойств				
	Коэффициент фильтрации, при давлении воды 2 атм, м/сут.	Коэффициент водоустойчивости $K_{B,}$ не менее	Водонепроницаемость, атм (давление воды)	Прочность при осевом одноосном сжатии, $R_{сж}$, МПа	Морозоустойчивость
О	$1*10^{-3}$	0.6	0,5	1.0-10.0	Не нижеF5
Б	$1*10^{-5}$	0,5	0,8	0.2-1.5	-
Ф	$1*10^{-7}$	0,5	1,5	0.2-1.5	-

Линейка материалов ГУТГ помимо достаточно высоких физико-механических характеристик обладает также и высокой технологичностью при их использовании в качестве материала для организации противофильтрационных экранов и завес.

Порошковый материал ГУТГ характеризуется высокой гидрофильностью, при затворении водой и непродолжительном перемешивании материал легко переходит в гомогенную массу заданной консистенции. Плотность материала при затворении водой может варьироваться от 1.01 до 1.8 г/см^3, в зависимости от

технологии дальнейшего использования. Затворение водой сухой смеси не требует специальной техники и происходит сразу в процессе перемешивания в смесительном узле.

Затворенная водой сухая смесь при плотностях 1,4-1,8 г/см^3 представляет собой гомогенный вязкопластичный медленно твердеющий материал, пригодный для укладки не позже 7-12 часов с момента приготовления в зависимости от марки. Материал распределяется равномерным слоем толщиной от 50 мм до массивов с толщиной слоя в несколько метров.

Если укладка вышележащих конструктивных слоев над глинистым слоем не предусмотрена, то необходимо устройство защитного слоя, обеспечивающего нормальные условия твердения для материала и его дальнейшей эксплуатации. В качестве защитного слоя может служить слой песка (или грунта) толщиной не менее 50 мм с целью обеспечения оптимальных температурно-влажностных условий для дальнейшего твердения материала. В случае сухой и ветреной погоды защитный слой песка должен периодически увлажняться.

Использование смесей в вязкопластичной консистенции целесообразно для устройства противофильтрационных защитных ограждений типа «стена в грунте», устройства гидроизоляции под ростверк, гидроизоляции днищ котлованов, карт полигонов и водоемов. Этот материал может использоваться для тампонирования полостей, для создания гидроизоляционного слоя в границах раздела типа бетон-грунт.

Характеристики материала допускают подводное проведение работ в пресных и морских водах, в том числе создание гидроизоляционных горизонтальных экранов, вертикальных стен.

Гидрофильность сухой смеси позволяет использовать материал ГУТГ для создания гидроизоляционного слоя непосредственно в виде сухой порошковой смеси. С этой целью сухую смесь укладывают слоем 50-100°мм, укрывают сначала слоем нетканого материала, типа дорнит, а затем слоем песка или грунта. Обычно влажности грунтов достаточно для перехода сухой смеси в пластичное состояние. Эта технология особо предпочтительна для проведения работ в зимнее время.

Затворенная водой сухая смесь с плотностью менее 1,3 г/см^3 представляет собой глинистую суспензию, которая может использоваться для кальматации пористых грунтов, трещиноватых пород, а также трещин в конструкциях. Возможно приготовление на основе таких суспензий буровых растворов.

Составы ГУТГ имеют опыт применения в промышленно-гражданском строительстве, в частности, в ходе производства работ по инженерной подготовке на территории бывшего золоотвала ТЭЦ площадью 19,8°га (Санкт-Петербург, квартал 9А-СУН). Для формирования противофильтрационного слоя были применены гидроизоляционные материалы в виде сухих порошковых смесей и вязкопластичных растворов (последние были применены и для устройства противофильтрационных защитных ограждений типа «стены в грунте»).

Формирование противофильтрационного слоя (Санкт-Петербург, квартал 9А-СУН)

За счет высокой технологичности процесса укладки и формирования противофильтрационного экрана из материала ГУТГ обеспечивается возможность максимально механизировать производство работ, благодаря чему сокращается время проведения гидроизоляционных работ и их стоимость.

** Елена Васильевна Щербакова, Санкт-Петербург*

Тел. моб.: +7(921)306-81-16

Перспективы применения вторичных сырьевых ресурсов

Д.т.н., зам. директора по науке М.В. Кнатько,
ОАО «Санкт-Петербургский зональный научно-исследовательский и проектный институт жилищно-гражданских зданий»;
к.т.н., старший научный сотрудник Е.В. Щербакова*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный университет

Разразившийся кризис привел к резкому падению спроса на строительные материалы. Только в январе-феврале 2009 г., по данным группы компаний СЗНК [1], падение объемов выпуска бетона составило 36% по сравнению с аналогичным периодом 2008-го, при этом снижение цен по сравнению с прошлым годом составило порядка 18%.

В связи со снижением объемов строительных работ отмечено сокращение добычи на 37,5-40% нерудных строительных материалов, таких как щебень, глина, песок, известняк и др. Только в Кировской области в добыче нерудных полезных ископаемых индекс производства составил 70,5% к уровню соответствующего периода прошлого года. Все это в конечном итоге приведет к дефициту на рынке сырья.

Однако уже сейчас, как и в будущем, в условиях посткризисной экономики, в нашем распоряжении остается скрытый неиспользуемый ресурс – значительные объемы накопленных за десятилетия отходов производства и потребления. Согласно экспертным оценкам НИЦПУРО (Научно-исследовательский центр по проблемам управления ресурсосбережением и отходами) [2], объемы накопления в России неиспользуемых отходов достигли 80-90 млрд тонн. Ежегодно образуется свыше 2,7 млрд тонн промышленных отходов. Спад промышленного производства вызвал незначительное снижение образования промышленных отходов, равно как и отходов строительных материалов, образующихся в результате сноса зданий и сооружений, но никакой кризис не способен повлиять на образование отходов, связанных с обеспечением жизнедеятельности людей: различных технологических отходов коммунальных очистных сооружений, отходов водоподготовки и др. Не стоит забывать, что размещение отходов на полигонах ведет к опасному загрязнению окружающей природной среды и выводу из хозяйственного оборота обширных территорий. Кроме того, содержание полигонов хранения требует больших материальных затрат.

Серьезные перемены в области обращения и переработки отходов принесет Федеральный закон «О вторичных материальных ресурсах» [3], согласно которому отходы производства и потребления рассматриваются как источник постоянно пополняемых материально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов. При этом производителя обяжут не только заплатить за загрязнение, но и предусмотреть дальнейшую утилизацию отхода. В рамках этого закона хранение отходов на полигонах становится невыгодным. Во-первых, при выдаче разрешений на размещение отходов территориальные органы Федеральной службы в области экологического надзора имеют право налагать запрет на захоронение или снижать лимиты на размещение отходов (до 50%), а во-вторых, хозяйствующий субъект должен будет принять меры по снижению (на 10% в год) объемов размещения отходов. В условиях несовершенства технологий производства и нерационального использовании отходов в качестве вторичных ресурсов производители будут просто вынуждены повернуться лицом к инновационным технологиям.

Таким образом, спровоцированный кризисом дефицит сырьевых ресурсов вкупе с законом «О вторичных материальных ресурсах» высвобождают мощный сырьевой источник в виде отходов, который в кризисной ситуации может оказать двойную пользу и подружить двух непримиримых соперниц: экономику и экологию.

В рамках решения этой задачи специалистами ОАО «СПбЗНИиПИ» был разработан комплекс мероприятий, позволяющий перерабатывать различные виды отходов: жидких, вязкопластичных и твердых дисперсных – в консолидированную искусственную породу типа грунтов укрепленных техногенных (ГУТ).

Получаемый материал ГУТ (ТУ-5745-003-57901546-2004) обладает повышенной прочностью и несущей способностью, характерной для искусственного техногенного грунта. Материал характеризуется постепенным набором прочности во времени: в зависимости от назначения предел прочности на одноосное сжатие ГУТ на 28 сутки составляет 2-40 кГ/см^2, коэффициент водоустойчивости – 0,6-0,8.

ГУТ может производиться путем совмещения отхода с минеральными комплексообразующими добавками (Комплексообразователи, тип МКД, ТУ-0391-010-48952916-2003, производство России), цементом (М400). Для получения требуемых прочностных характеристик в состав материала могут быть включены скелетные добавки в виде песка, высевок или щебня, также с целью утилизации могут быть использованы пески песколовок или загрязненные грунты с аварийных участков работ. Кроме того, в его состав могут быть введены полимерные или минеральные армирующие добавки в количестве от 0,1 до 0,5%.

Применяемые для получения ГУТ порошковые комплексообразующие добавки МКД производятся на основе гидролизованных алюмосиликатов глинистых пород, которые за счет наличия развитой поверхности

обладают высокими хемосорбционными свойствами по отношению к загрязнителям различной природы. В обработанном отходе экотоксиканты связываются (капсулируются) синтезирующимся в процессе обработки кальцийалюмосиликатным вяжущим веществом.

Разработанный технологический комплекс позволяет перерабатывать в конечный продукт ГУТ (ГОСТ 23558-94) отходы нефте- и газопромышленного комплекса, отходы коммунальных очистных сооружений, включая отходы водоподготовки и водоотведения, с получением материалов, применяемых:

- в ландшафтно-планировочных работах:
  - для подсыпки территории,
  - для инженерной подготовки территории под строительство при производстве рекультивационных работ на полигонах хранения осадка сточных вод, золоотвалах ТЭЦ, территориях свалок строительного мусора и ТБО;
- для организации нижних конструктивных слоев оснований дорог и промышленных площадок;
- в качестве строительного вяжущего для стабилизации слабых грунтов.

Перспективным направлением в условиях кризиса будет применение материала ГУТ в дорожном строительстве в технологии укрепления слабых грунтов, как наиболее радикальный и эффективный путь обеспечения экономии материальных ресурсов, повышения производительности труда, резкого уменьшения объема перевозок дорожно-строительных материалов.

Укрепление грунтов позволяет качественно изменить первоначальные свойства естественных грунтов различного состава и генезиса и преобразовать их в прочный и морозоустойчивый конструктивный слой дорожной одежды. Полученное на основе отхода строительное вяжущее в виде гомогенной вязкопластичной медленно твердеющей массы (не позднее 7-12 часов с момента приготовления) распределяется равномерным слоем толщиной от 50-100 мм на протяжении участка (захватки) формируемого дорожного полотна. С использованием грунтосмесительных машин подготовленная масса непосредственно на дороге смешивается фрезой с грунтом, формируя искусственный материал, отвечающий в проектные и промежуточные сроки нормируемым показателям качества по прочности и морозостойкости.

Преимущества конструкций дорожных одежд с применением укрепленного грунта по сравнению с традиционными конструкциями заключается в:

- более длительном сохранении несущей способности и ровности поверхности покрытия;
- существенном улучшении водно-теплового режима земляного полотна;
- снижении материалоемкости конструкций дорожных одежд;
- широком использовании местных материалов взамен привозных;
- существенном снижении транспортных расходов на перевозку строительных материалов.

Стоит отметить, что укрепление грунта верхней части земляного полотна предусматривает не создание монолитного слоя, а улучшение свойств грунта с целью обеспечения заданных расчетных прочностных и деформационных характеристик на значительном протяжении дороги независимо от исходных грунтово-гидрологических условий. При этом, влажность верхней части земляного полотна под основанием и морозозащитным слоем, устроенными из укрепленного грунта, меньше, чем под щебеночным основанием на дренирующем песчаном слое, что в сочетании с хорошей распределяющей способностью конструктивных слоев из укрепленных грунтов, обеспечивает ровность покрытий на таких слоях выше, чем на щебеночных или гравийных основаниях.

Таким образом, грамотный выбор инновационных решений при работе с отходами позволит не только победить одну из вечных проблем России – плохие дороги, но и снизит техногенную нагрузку на территорию.

Литература

1. Группа компаний СЗНК, аналитический обзор рынка // http://www.sznk.ru/osn.php?page=osn.php&razdel=68.
2. Научно-исследовательский центр по проблемам управления ресурсосбережением и отходами // http://www.waste.ru.
3. Проект Федерального закона «О вторичных материальных ресурсах» // http://www.solidwaste.ru/docs/view/145.html

** Елена Васильевна Щербакова, Санкт-Петербург*

Тел. раб.: +7(812)369-31-79; тел. моб.: +7(921)306-81-16

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* ▪ *Проектирование зданий и сооружений с использованием современных программных продуктов*	▪ *Основы строительного дела* ▪ *Технология строительного производства и системы управления качеством в строительстве* ▪ *Основные функции участников инвестиционно-строительного проекта* ▪ *Функции заказчика-застройщика* ▪ *Управление строительной организацией* ▪ *Сметное дело в строительстве* ▪ *Календарное и сетевое планирование в строительстве с использованием MS Project*
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 и монтаж систем электроснабжения* ▪ *Проектирование инженерных сетей и систем с использованием современных программных продуктов*