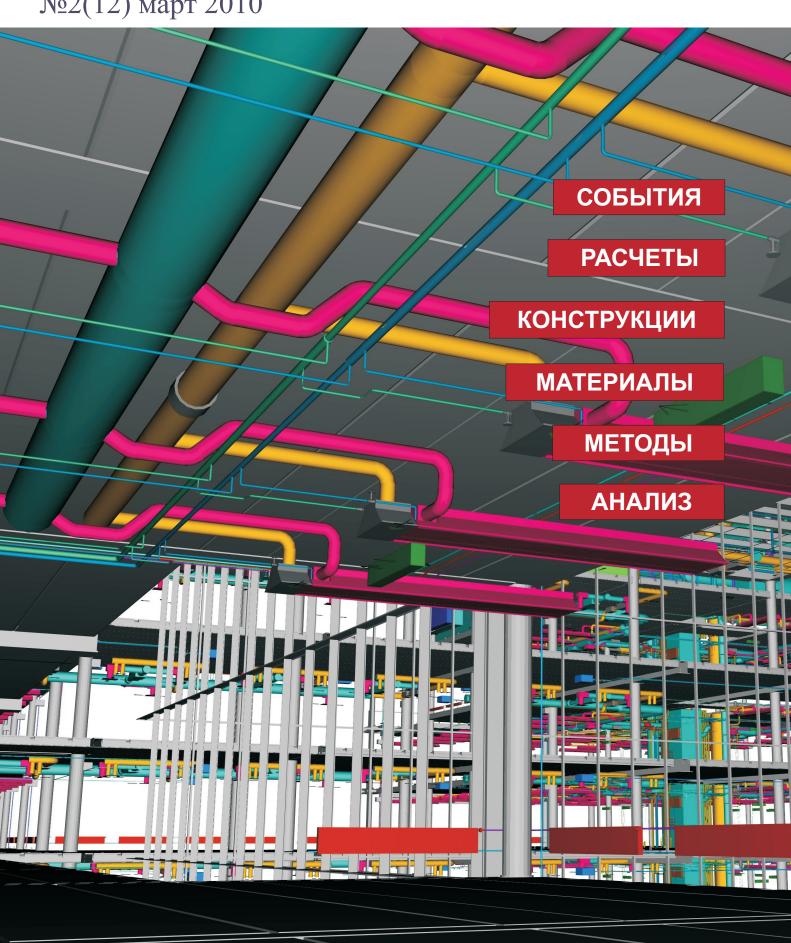
Инженерно-строительный журнал

ISSN

2071-4726

№2(12) март 2010





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 Основы строительного дела материалы Технология строительного Выполнение строительно-монтажных производства и системы управления качеством в строительстве работ Основные функции участников Контроль качества строительномонтажных работ инвестиционно-строительного проекта Управление строительной Функции заказчика-застройщика организацией Функции участников инвестиционно-Управление строительной строительного проекта организацией Основы расчета строительных Сметное дело в строительстве конструкций Календарное и сетевое планирование в Проектирование зданий и сооружений с строительстве с использованием MS использованием современных Project программных продуктов Проектирование и конструирование Инженерные системы зданий и зданий и сооружений сооружений Основы сопротивления материалов и Основные понятия механики жидкости механики стержневых систем и газа

- 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
- 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

2

3

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

Инженерно-строительный журнал

научно-прикладное издание

ISSN 2071-4726

Свидетельство о государственной регистрации: ПИ №ФС77-38070, выдано Роскомнадзором

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. 204

Главный редактор:

Вера Михайловна Якубсон

Редакционный совет:

Д.э.н., проф. ГОУ СПбГПУ, вицегубернатор 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.

Установочный тираж 1000 экз.

Контакты:

Тел. 297-59-49

E-mail engstroy@inbox.ru
Http://www.engstroy.spb.ru

Содержание

СОБЫТИЯ		
вопросы эфф	ективности	ограждающ

Вопросы эффективности ограждающих конструкций Методы обследования и усиления зданий и сооружений

АНАЛИЗ

М. Самофалов, В. Папинигис. Качество конструкторской проектной документации с точки зрения технической экспертизы в Литве 4
Л.Л. Гошка. Климатические системы: переход от санитарногигиенических к физиологическим нормам 12

МЕТОДЫ

Е.В. Криницкий. Информационная модель здания (ВІМ)

Н.В. Параничева, Н.В. Назмеева. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов

Н.И. Ватин, В.Н. Чечевичкин, А.В. Чечевичкин. Особенности очистки воды из р. Вуокса в летний период

23

РАСЧЕТЫ

Г.Я. Булатов, А.П. Ножнов. Численное моделирование влияния грунтового ядра на несущую способность трубосваи 27 В.М. Жгутов. Нелинейные уравнения равновесия ребристых оболочек с учетом различных свойств материала 36 В.М. Жгутов. Нелинейные уравнения движения ребристых оболочек с учетом различных свойств материала. II 45

МАТЕРИАЛЫ

А.С. Рыжов, Л.Н. Поцелуева. Наномодифицированный магнезиально-шунгитовый защитный бетон 49

КОНСТРУКЦИИ

В.Э. Абракитов. Звукоизолирующая панель с максимально возможной звукоизолирующей способностью 56 Н.И. Ватин, В.В. Володин, Е.А. Золотарева, К.В. Петров, Е.Н. Жмарин. Реконструкция крыш Санкт-Петербурга на основе легких стальных тонкостенных конструкций и антиобледенительной системы 59

При перепечатке ссылка на издание обязательна

На обложке: проект центрального офиса Tapiola Group; проектирование инженерных сетей – Olof Granlund Oy (Финляндия)

Вопросы эффективности ограждающих конструкций



4 марта в известном проектном институте «ЛенНИИПроект» проходил семинар «Эффективные решения ограждающих конструкций». Были представлены несколько наиболее популярных в последнее время вариантов фасадных систем.

Рынок ограждающих конструкций сегодня разнообразен, на нем присутствует большая конкуренция. Активное развитие этой отрасли в последнее десятилетие связано, прежде всего, с изменением теплотехнических норм и, соответственно, требований к удельному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций. Вокруг разумности новых требований, а также соответствия им новых конструктивных решений споры не утихают. В декабре 2009 г. в Санкт-Петербурге проходила научно-практическая конференция «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий», на которой большое внимание было уделено различным фасадным системам (см.: Релиз конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование

ограждающих конструкций зданий» , №1, 2010; Энергоэффективность зданий и строительная теплофизика, №8, 2009).

Доклад Александра Сергеевича Горшкова, к.т.н., технического специалиста ООО «Н+Н», докторанта ГОУ СПбГПУ, был посвящен как раз теплотехническим качествам газобетона — материала, наиболее часто используемого в ограждающих конструкциях (см. об этом: В.А. Пинскер, В.П. Вылегжанин, Г.И. Гринфельд. Теплофизические испытания фрагмента кладки стены из газобетонных блоков марки по плотности D400 // Инженерностроительный журнал, №8, 2009). Статья А.С. Горшкова об испытаниях двухслойных стеновых конструкций опубликована в №8, 2009 нашего журнала.

На семинаре было рассмотрено три основных вида ограждающих конструкций: вентилируемый фасад, газобетон + облицовочный кирпич и система «мокрого фасада». Илья Геннадьевич Иванов, заместитель директора по работе с проектными организациями ОАО ПО «Ленстройматериалы» говорил о том, что традиционное решение «газобетон D400 + облицовка толщиной в кирпич» является малоэффективным, т.к. ограждающая конструкция имеет большой вес, а также «отбирает» полезную площадь здания. Уже широко применяется альтернативное решение стены в полкирпича с поэтапным опиранием на плиты перекрытия. Другим вариантом



является применение газобетона в сочетании с самонесущей стеной, облицованной силикатным кирпичом, также толщиной в полкирпича. Следующий этап в данных разработках представляет конструкция термопанели (см.: Д.В. Кузьменко, Н.И. Ватин. Ограждающая конструкция «нулевой» толщины – термопанель // Инженерностроительный журнал, №1, 2008).

Другим конструктивным решением является система мокрой штукатурки. Она представляет собой кирпичную стену с прикрепленным к ней снаружи утеплителем, который покрывается штукатуркой. В этой системе очень важен не только выбор утеплителя, но и выбор и правильное использование клеевых и штукатурных составов. Этому вопросу был посвящен доклад инженера ОНИР «МС Bauchemie Russia» Павла Станиславовича Песоцкого.

Третьим вариантом конструктивного решения ограждающих конструкций является вентилируемый фасад. На прошедшем семинаре было уделено внимание вопросам крепления облицовочного слоя к кирпичной кладке. Как известно, оно осуществляется дюбелями, и именно от качества их монтажа, а также от материала, зависит надежность системы.

Вера Якубсон

Методы обследования и усиления зданий и сооружений

18.03.10 в ГОУ «Военный инженерно-технический университет» (ГОУ ВИТУ) проходила XIV научнометодическая конференция «Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций». Конференция проходит ежегодно и собирает специалистов по вопросам технического обследования со всей России и из ближнего зарубежья (о предыдущей конференции см.: Дефекты и усиление // Инженерностроительный журнал, №2, 2009).

Сегодня существуют различные методики диагностики дефектов строительных конструкций (см., например: А.В. Улыбин, С.Д. Федотов. Применение ультразвукового метода для оценки зоны повреждения железобетона после пожара // Инженерно-строительный журнал, №7, 2009). Об одном из применяемых

методов на конференции рассказал д.т.н., доцент Филиала ОАО «26 Центральный научно-исследовательский институт» в Санкт-Петербурге Сергей Николаевич Савин. На примере обследования Кронштадтского Морского собора был описан метод динамических испытаний по микроколебаниям. При использовании этого метода на несущих конструкциях устанавливаются датчики, после чего им сообщаются механические колебания – в данном случае ударом мешка с песком. Далее анализируется картина колебаний, и делаются выводы: так, снижение частоты колебаний показывается конструкции. снижение жесткости При этом сторонние динамические колебания (например, при обследовании зданий в центре города, - от транспорта) исключаются из картины за счет суммирования результатов от 10-15 воздействий.



После выявления дефектов строительных конструкций следующим этапом работы является оценка технического состояния и, соответственно, надежности конструкции или сооружения в целом. На данный момент решение об отнесении конструкции к той или иной категории технического состояния (в соответствии с СП их пять), как правило, принимается на основе экспертных оценок, т.е. волевым решением специалиста на основе его профессионального опыта. Владимир Алексеевич Соколов, к.т.н., профессор ГОУ «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», в своей работе попытался создать более строгую методику такой оценки. Для этого была построена диагностическая матрица, включающая различные диагностические признаки, например, наличие или отсутствие различных видов трещин, снижение прочности бетона и т.п. Значения коэффициентов для каждого признака рассчитаны на основе статистических данных, т.е. также на основе профессионального опыта. Анализ данных осуществляется методами теории информации, с помощью которой оценивается вклад отдельного элемента в техническое состояние конструкции. Следующим шагом в разработке этого метода, по мнению В.А. Соколова, должно стать получение более точных вероятностных коэффициентов, основанных уже не на априорных оценках, а на каких-либо расчетных данных.

Близкой теме был посвящен доклад д.т.н., профессора Брестского государственного технического университета Виктора Владимировича Тура. Темой его были частные коэффициенты безопасности при оценке надежности существующих конструкций. Очевидно, что они должны отличаться от коэффициентов, используемых при проектировании, поскольку последние дают больший «запас» и должны быть рассчитаны на весь проектный срок службы. Кроме того, при оценке технического состояния существующей конструкции уже возможно получить данные о реальных воздействиях, реальном состоянии материалов и т.п. В результате сегодня эти коэффициенты безопасности также принимаются по экспертным оценкам. В то же время, в европейских нормах, которые с 1 января 2010 г. введены в действие и в Белоруссии, происходит более четкое нормирование данных коэффициентов.

После выдачи заключения о техническом состоянии конструкции при необходимости начинается этап усиления конструкции. С докладом о методе усиления зданий углепластиковыми материалами выступила студентка Череповецкого государственного университета Наталья Владимировна Параничева. Ее статью по материалам доклада см. на стр. 19. Также о различных методах усиления строительных конструкций см. рубрику «Усиление» в №3, 2009 нашего журнала.

Отдельной темой конференции стал животрепещущий вопрос борьбы с сосульками. С докладом на эту тему выступил д.т.н., профессор ГОУ ВИТУ Михаил Николаевич Ваучский. По его мнению, чтобы избежать таяния снега на крышах, который приводит к образованию сосулек, достаточно обеспечить холодные вентилируемые чердаки. Для этого, особенно в центре города в домах с верхней разводкой инженерных сетей, необходимо, прежде всего, изолировать трубопроводы. Также нужно восстановить естественную вентиляцию чердака и обеспечить утепление покрытия верхнего этажа (например, с использованием монолитного пенобетона). Об альтернативном методе борьбы с сосульками см. статью на стр. 59.

Качество конструкторской проектной документации с точки зрения технической экспертизы в Литве

Д.т.н., доцент М. Самофалов*, Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса Д.т.н., доцент В. Папинигис, Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса

Введение

Особым видом инженерной деятельности является техническая экспертиза. Это ответственная работа, требующая как высокого уровня профессиональных знаний в узкоспециализированной области, так и общего понятия существующих традиций, способности ориентироваться и принимать верные решения в конкретных ситуациях. Согласно действующей в Литве классификации в области строительства [1], экспертные работы подразделяются на два вида: экспертиза состояния существующих сооружений и экспертиза проектов сооружений. В данной публикации рассматривается вопрос экспертизы конструктивной части проектов.

Научных публикаций об экспертизах проектной документации в Литве нет. Хотя этап совершенствования проектной документации по замечаниям и рекомендациям экспертов является последним и поэтому наиболее напряжённым перед сдачей проектов на утверждение заказчику и далее – в производство [2, 3].

Экспертиза проектов в Литве носит поверочный характер [1]. Основная цель – определить соответствие принятых в проекте решений требованиям действующих норм.

Данная публикация преследует цель быть полезной как в прикладной научно-технической отрасли, так и для инженеров-практиков. Рассмотренные в работе образцы ошибок и статистические данные выражают сугубо индивидуальное мнение авторов. Проблематика технических решений и вопросы организации качественного проектирования [4] на сегодняшний день являются актуальными. Детальное рассмотрение и анализ результатов экспертизы проектов даёт богатый материал, на основе которого следует улучшать качество проектной документации вообще и конструкторских решений в частности [5], повышать квалификацию проектировщиков и экспертов, совершенствовать нормы проектирования. К сожалению, этот источник информации остаётся мало задействованным, а зачастую наоборот – экспертные бюро стараются не обобщать и не афишировать результатов своей работы. В статье делается попытка совершенствовать инженерные решения не путём создания новых теорий или методов расчёта, а путём анализа ошибок проектной документации и подготовке предложений по её совершенствованию. Такой подход является консервативным в инженерном деле.

Проектная документация

До 1991 г. В Литве действовали СНиП и соответствующая система технических стандартов СССР.

С 1991 до 2010 г. осуществлялся постепенный переход к использованию норм Европейского Союза (ЕС). Для разработаны этого были [6] строительно-технические регламенты (СТР), преследующие две цели: во-первых, поэтапно ознакомить инженеров-практиков системой требований EC [7]; во-вторых, подготовить национальные нормы проектирования согласовать соответствующие параметры гармонизации национальных норм в системе документооборота ЕС. Начало применения единых общеевропейских норм: 1 марта 2010 г.

Требования к качеству в строительной отрасли представлены в директиве Совета Европейского Экономического Сообщества 89/106/EEC от 21 декабря 1988 г.

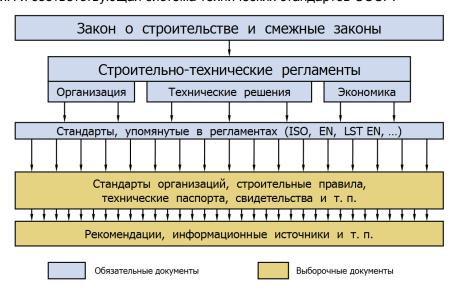


Рисунок 1. Схема уровней правовых документов

Самофалов М., Папинигис В. Качество конструкторской проектной документации с точки зрения технической экспертизы в Литве

Самые важные показатели по каждому из принципиальных требований представлены в сборниках норм ECE/HBP/81, ECE/HBP/91 и пополнены в 1995 г. Позднее вышеуказанные документы совершенствовались. Действующие требования представлены 5 основными уровнями (рис. 1). Три верхних уровня документов являются обязательными, два нижних – необязательными.

Согласно СТР [8] проектная документация конструктивной части сооружения разрабатывается в две стадии (рис. 2): *технический проект* (ТП) и *рабочий проект* (РП).

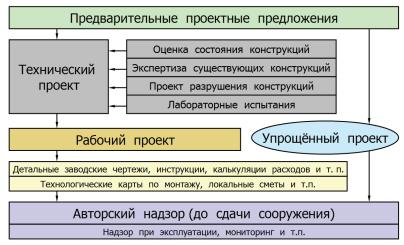


Рисунок 2. Стадии разработки проектной документации

Проектные предложения актуальны для уникальных общественных (аэропорты, телебашни, метро, стадионы) или высокотехнологичных (электростанции, морские порты) сооружений.

оговаривает концепцию сооружения, преследуя цель сбора информации для РП, который He изменяет принципиальных решений ТП. Специализированные организации (изготовители сборных железобетонных панелей и Т. п.) на основе РΠ разрабатывают заводскую документацию (чертежи, инструкции ПО сборке. рекомендации по монтажу и т. п.).

Комплект документации сооружения пополняет исполнительная и эксплуатационная (акты и протоколы текущих осмотров, ремонтов). Обязательными стадиями являются ТП и РП, наличие остальных зависит от конкретной ситуации. Для особо важных сооружений конструктивная часть ТП и РП должна быть проэкспертирована. При разработке проектов несложных сооружений допускается проектирование в одну стадию – *техно*–*рабочий проект* (ТРП).

В состав конструктивной части ТП входит:

- пояснительная записка (общая ситуация, особенности);
- технические спецификации (требования к работам);
- инженерные расчёты (сооружения в целом или характерных поперечных рам);
- чертежи (общие планы и разрезы, нетиповые решения узлов и соединений);
- сводная выборка материалов (ориентировочно).

В состав конструктивной части РП входит:

- пояснительная записка, если были изменения по сравнению с ТП;
- детальные расчёты (узлов и отдельных конструктивных элементов);
- чертежи (для строительства, но не заводские);
- спецификации материалов (по желанию подрядчика).

Ответственность за подготовку и согласование всех частей проекта сооружения несёт руководитель проекта. За проектирование несущих конструкций сооружения отвечает руководитель конструктивной части проекта (РКЧП). Помимо аттестованных специалистов, юридическую ответственность (страхование, обеспечение технических средств, организационных возможностей и т. п.) несут аттестованные учреждения, которые данные специалисты представляют. РКЧП должен быть один на протяжении подготовки всего проекта (фундаменты, железобетонные конструкции, стальные конструкции, профилированный настил и др.). Экспертом может выступать как физическое, так и юридическое лицо. Экспертное бюро не имеет право проектировать и наоборот. Как специалисты (проектировщики и эксперты), так и организации должны быть аттестованы специальной службой министерства в соответствии с определённой процедурой. В настоящее время в Литве насчитывается порядка 1100 проектных организаций и порядка 30 независимых экспертных бюро, действующих на коммерческой основе.

Процесс проведения экспертизы и условия исследования

Оценка проектных решений и оформления проектной документации произведена на основе формальной сортировки замечаний к проектам. Команду экспертов для представленной выборки составляют 5 специалистов со стажем работы в проектировании и экспертизе от 10 до 30 лет. Все специалисты с высшим инженерно-строительным образованием, два из них — доктора технических наук. Все эксперты аттестованы Министерством окружающей среды Литвы. Так как конструктивная часть проекта является значительной по Самофалов М., Папинигис В. Качество конструкторской проектной документации с точки зрения технической экспертизы в Литве

сложности и объёму, то обычно эксперты работают по направлениям: расчётная схема, фундаменты, железобетонные, стальные, деревянные конструкции. При таком подходе замечания к проекту могут дублироваться, и это позволяет взглянуть на задачу с разных точек зрения.

В исследовании рассматривалась выборка из 50 ТП и РП (отдельных), проверенных в 2009 г. (табл. 1). 10% проектов подтверждено без замечаний.

Таблица 1. Объёмы исследованных проектов сооружений

Тип сооружения								
Новое сооружение, пристройка	72 %							
Реконструируемое сооружение, надстройка	28 %							
Назначение сооружения								
Жилые дома	4 %							
Торговые центры	12 %							
Спортивно-развлекательные центры	8 %							
Офисные, общественные здания	22 %							
Склады	16 %							
Инженерные сооружения	8 %							
Сооружения промышленности, сельского хозяйства	30 %							
Проекты по стадиям разработки								
Технический проект	52 %							
Рабочий проект	38 %							
Техно-рабочий проект	10 %							
Наличие проверяемых частей в проектах								
Расчёты	100 %							
Фундаменты	68 %							
Железобетонные конструкции	70 %							
Стальные конструкции	100 %							
Деревянные конструкции	12 %							
Технологический процесс	100 %							

Анализ распределения проектов по типу строительства указывает на значительную часть реконструируемых сооружений. Это объясняется падением спроса на новые сооружения, связанным с финансовым кризисом. Другая особенность – реконструируются в основном железобетонные сооружения, т.к. реконструкция большепролётных стальных конструкций, как правило, нецелесообразна. Популярно использовать смешанные надземные несущие каркасы: стальные и железобетонные (58 %); стальные, железобетонные и деревянные (12 %).

Экспертные замечания по своей сути служат показателями учёта неточностей. Анализ такого рода результатов не создаёт полной картины о качестве проекта. К тому же эксперт тоже может ошибиться, либо неверно трактовать представленную в проекте информацию. Тем не менее, попытка формальной сортировки позволяет осознать важность и влияние отдельных групп вопросов, а это даёт ключ к повышению требований в определённой области проектирования и совершенствованию норм. В данной работе замечания к проектам распределены на 8 групп (табл. 2).

Таблица 2. Группирование экспертных замечаний

, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,								
Группа замечаний	%	mid/max						
Общее оформление	12	0,12						
Пояснительная записка	17	0,30						
Технические спецификации	3	0,12						
Расчёты	23	0,27						
Правила конструирования	15	0,13						
Оформление чертежей	24	0,14						
Технологические процессы	1	0,07						
Рекомендации	5	0,12						
Итого:	100	0,27						

Самофалов М., Папинигис В. Качество конструкторской проектной документации с точки зрения технической экспертизы в Литве

Количественное распределение замечаний лишь приблизительно характеризует ситуацию. Например, замечание «Не представлено инженерных расчётов» должно было бы быть выражено коэффициентом, указывающим на количество замечаний в случае наличия отчёта об инженерных расчётах. Идя формальным путём, такому замечанию следует присвоить весовой коэффициент, выражающий среднее арифметическое значение количества замечаний на основе опыта проверки аналогичных проектов. Разные коэффициенты учёта замечаний могли бы также учитывать влияние замечания. Например, если на чертеже стальной пластинки не указано расстояние от центра отверстия до кромки детали, то это может быть как графическая неточность, так и ошибка конструирования. В таком случае вес замечания следует удвоить. Важно отношение «mid/max» среднего количества замечаний (табл. 2) к наибольшему их числу. Например, если для инженерных расчётов наибольшее число замечаний 5, а среднее — 3, то это значит, что замечания этой группы актуальны почти для всех проектов (коэф. учёта 0,60).

К сожалению, участились случаи, когда заказчики сдают на экспертизу вместо ТП предварительный эскизный проект. Зачастую разработчиков проекта об этом даже не уведомляют. СТР не предусматривают такого случая, и это несколько искажает результаты обработки замечаний. Иногда после корректуры проекта возникает ещё больше замечаний, чем до исправления. Такие случаи нетипичны и поэтому в представленной выборке не рассматривались. Также исследования не охватывают очень крупных строительных комплексов (сметной стоимостью более 15 млн. евро), для которых экспертные работы проводятся по специально разработанному алгоритму, учитывающему уникальные особенности сооружения.

Неточности в проектах: формальные требования к оформлению

Этот вид неточностей наиболее общий. Но значительное количество таких ошибок (табл. 2) указывает на несерьёзное их рассмотрение как проектными организациями, так и проектировщиками. В основном это следующие неточности:

- в проекте не указан руководитель проекта, РКЧП, нет реквизитов;
- не подписаны чертежи и текстовые документы;
- в разных томах проекта указаны разные РКЧП;
- не представлен список томов проекта;
- грамматические ошибки;
- используемые в проекте обозначения не соответствуют действующим стандартам;
- если ТП и РП разрабатывали разные РКЧП, то нет согласовывающего проект документа;
- для комплекса сооружений не разделена ответственность между РКЧП для каждого объекта.

По мнению авторов, доля таких неточностей имеет тенденцию увеличиваться в ближайшем будущем.

Неточности в проектах: пояснительная записка

Согласно действующим СТР, пояснительная записка – самый важный документ в проекте, которому, к сожалению, не уделяется должного внимания со стороны инженерного персонала заказчика, подрядчика и субподрядчиков. Пояснительная записка ТП преследует цель охарактеризовать условия строительства и общую ситуацию, сложившуюся при проектировании сооружения, а также подчеркнуть особенности, сформулировать общие и конкретные требования. Наиболее часто встречающиеся неточности:

- не указана категория сооружения и класс конструкций, влияющие на выбор коэффициентов;
- не указана категория агрессивности окружающей среды;
- нет информации о деформационных блоках, деформационных швах;
- указанные в списке стандарты не задействованы в проекте, а использованные не указаны;
- указанные в списке стандарты не действуют либо устарели;
- не упоминается о существующих и рядом расположенных сооружениях;
- не указывается, соответствует ли спроектированное сооружение требованиям СТР.

При разработке РП наличие пояснительной записки необязательно в случае его полного соответствия решениям ТП, что в современной практике проектирования в Литве явление крайне редкое – тем не менее, пояснительная записка в РП часто игнорируется, а о принципиальных изменениях разработчики РП стараются умолчать. Иногда о решениях заведомо умалчивают, не желая допустить передачи РП другой проектной организации или же другому РКЧП.

Неточности в проектах: технические спецификации

Согласно действующим СТР *технические спецификации* (TC) разрабатываются только на стадии ТП. В составе РП могут быть представлены инструкции для специализированных работ (например, монтаж лифтов).

Самофалов М., Папинигис В. Качество конструкторской проектной документации с точки зрения технической экспертизы в Литве

Хотя ТС предназначены для описания строительных работ и требований к их выполнению для конкретного сооружения, на практике почти всегда ТС представляются в общей форме, подходящей если не для любых сооружений, то во всяком случае — для сооружений рассматриваемого класса. Список норм в составе ТС, как правило, слишком широк. При этом такие важные индивидуальные особенности строительного объекта, как монтаж нестандартного оборудования (узлы трубопроводов, крепления подвесных тельферов, крепления зрительских трибун и т. п.) и сложных конструкций (например, стенки и покрытия цилиндрического резервуара) остаются неоговорёнными.

Инженерный персонал строительных и монтажных организаций не читает ТС. Очень часто их не читают даже руководитель проекта и РКЧП, поэтому в ТС встречаются названия других сооружений, либо конструктивные элементы и материалы, которые не используются в проекте рассматриваемого сооружения.

Неточности в проектах: общие и детальные расчёты

В современном проектировании выбор и компоновка расчётной схемы всего сооружения тесно связаны с вычислительной техникой и программным обеспечением [9]. При этом моделирование сложного сооружения как единой механической системы зачастую не соответствует работе конструкции сооружения в натурных условиях.

Общие недоработки расчётной проектной документации конструктивной части проекта таковы:

- руководитель проекта и РКЧП не подписывает расчётной документации;
- заказчиком, руководителем проекта и руководителями других частей проекта не формулируется и письменно не оформляется чёткое задание на расчёт сооружения;
- мало времени уделяется расчётам и мало внимания их оформлению;
- предусмотренное время для подготовки расчётной схемы частично расходуется архитекторами для совершенствования решений и согласования с другими частями проекта;
- расчёты не проверяются внутренним контролем организации, нет контрольных перерасчётов;
- расчётчик нанят как отдельный специалист, не осознающий сложившуюся ситуацию.

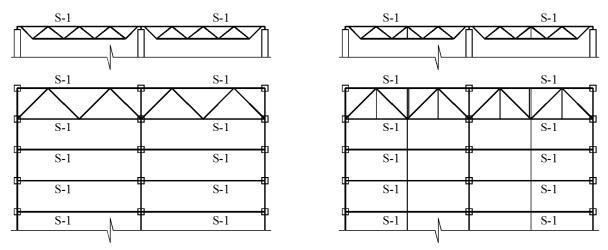


Рисунок 3. Расположение связей по верхнему поясу стропильных ферм: недостаточно (а); достаточно (б)

На стадии ТП рассчитывается всё сооружение и некоторые нестандартные узлы. Наиболее часто встречающиеся ошибки в ТП:

- эксцентриситеты и шарниры задаются в неверных направлениях;
- не обращают внимания на оповещения о мгновенной изменяемости системы, при этом некоторые из программ исключают подвижность системы автоматически (кстати, часто некорректно);
- в расчётных загружениях не учитываются монтажные ситуации (нагрузки, опирания, соединения, неполная прочность и т. д.), варианты испытаний конструкций и инженерного оборудования, запуск или останов промышленных реакторов и т. п.
- профилированный настил трактуется как жёсткий диск, хотя условий для его жёсткой работы не создано (эксплуатация кранов, действуют динамические нагрузки от оборудования и т. п.);
- связи подбираются без учёта особенностей сооружения (рис. 3), формально выполняя требования норм и ссылаясь на то, что при статическом линейном расчёте компьютерная программа «не считает» устойчивости системы (явный недостаток профессиональной квалификации);

- не решаются задачи общей устойчивости [10] сложных и чувствительных систем (арки, купола, мачты, сквозных колонн и т. д.);
- нагрузки от неразрезных систем (профилированный настил, подкрановые балки, подвесные пути и т. п.) прикладываются как от разрезных (рис. 4).

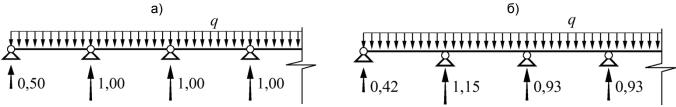


Рисунок 4. Схема распределения опорных реакций для системы: разрезной (а); неразрезной (б)

На стадии разработки РП уточняются расчёты по подбору стальных поперечных сечений элементов, армирования железобетонных плит и стержней, рассчитываются узлы конструкции.

Зачастую на практике организационной причиной ошибок в расчётах узлов является то, что они должным образом не оформляются. Это не позволяет РКЧП отследить изменения, которых всегда много в РП, и вовремя успеть внести корректировки (рис. 5).

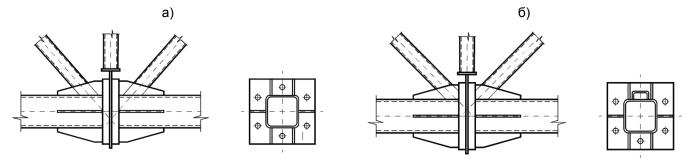


Рисунок 5. Центральный фланцевый узел стропильной фермы решён: верно (а); неверно (б)

Традиционной ошибкой можно считать следующую: проверка узлов на стадии РП показывает, что нужно заменить поперечное сечение, которое было подобрано в ТП. Это приводит к конфликту с заказчиком из–за увеличения сметной стоимости сооружения по сравнению с начальной.

Неточности в проектах: правила конструирования

Прежде всего, при разработке проекта не учитывается важный факт – РКЧП должен быть ознакомлен с принципиальной концепцией всего сооружения и основами реализации всех других частей проекта (архитектура, функциональная схема, промышленная технология, электросети, водоснабжение и т. д.). Не менее важно, чтобы разработчики ТП принимали решения, которые возможно реализовать в РП.

Ошибки конструирования при проверке проектной документации ТП:

- на стадии ТП задаются безфасоночные узлы, в которых соединяются поперечные сечения значительно различающейся, либо одинаковой ширины (рис. 6);
- в узле соединяют очень толстый с тонким листом, при сварке которых тонкий лист может быть пережжён, а толстый лист не проварен на достаточную глубину (рис. 7);
- из соображений экономии подбираются стержни, гибкость которых превышает предельную.

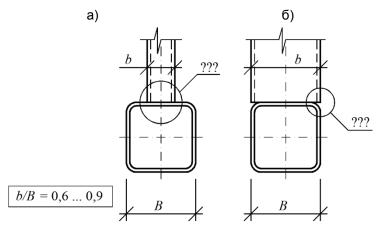


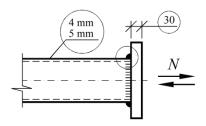
Рисунок 6. Присоединение решётки к нижнему поясу фермы, когда элемент слишком: узкий (а); широкий (б)

При разработке РП встречаются следующие недочёты:

- толщина сварочного шва подбирается лишь из условия его прочности;
- не выполняются требования к расстояниям между отверстиями и до кромки детали;

Самофалов М., Папинигис В. Качество конструкторской проектной документации с точки зрения технической экспертизы в Литве

- в чертежах не указывается, какие поверхности нужно фрезеровать;
- не соблюдаются правила, обеспечивающие условия создания качественных сварных швов (рис. 8);
- поперечные сечения балок из соображений экономии не усиливаются рёбрами жёсткости.



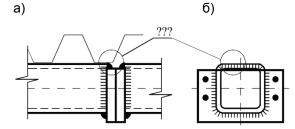


Рисунок 7. Сварные соединения тонкой стенки коробчатого поперечного сечения с толстым листом

Рисунок 8. Фланцевый узел верхнего пояса фермы: вид (a); разрез (б)

За период с 1990 до 2010 г. конструкторские навыки инженеров в Литве претерпели значительные изменения, причём не в лучшую сторону. Это напрямую связано со значительным сокращением количества эксплуатируемых промышленных объектов. Ранее существовавший опыт и культура проектирования частично утеряны, а новое поколение специалистов—практиков готовилось в большинстве случаев самостоятельно и, к сожалению, бессистемно. На новых промышленных предприятиях с иностранным капиталом существует тенденция найма инженеров из—за границы. Исключение составляют большие промышленные комплексы, где до сих пор сохранились специализированные проектные отделы со значительным опытом работы.

Неточности в проектах: оформление чертежей

Качество оформления чертежей важно как на стадии разработки ТП, так и РП [11]. Но требования разные, т. к. с ТП будут работать инженеры, а с РП – инженеры и рабочие. Наиболее часты в ТП ошибки:

- не указан класс стали и соответствующий стандарт;
- обозначения не соответствуют требованиям национальных стандартов [12];
- расположение конструктивных элементов в разрезах не соответствует расположению на плане;
- не указаны габариты конструкций и альтитуды;
- не указаны габариты деформационных блоков;
- в спецификациях не указываются ориентировочные объёмы дополнительных материалов (фасонки узлов, рёбра жёсткости, болты, сварочные швы и т. п.).

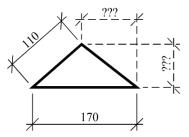


Рисунок 9. Расстановка размеров детали с непрямыми углами

Наиболее частые ошибки чертежей РП:

- не достаточно размеров для разработки заводских чертежей;
- указаны неактуальные изготовителю размеры (рис. 9);
- размеры на чертеже не совпадают с размерами, представленными в спецификации материалов;
- не указаны классы болтов, гаек, шайб;
- не представлены монтажные узлы.

Из-за спешки при изготовлении и монтаже конструкций, в случае неоднозначности чертежей, решение могут принимать некомпетентные участники процесса. Такое решение может быть ошибочным.

Неточности в проектах: процессы технологии изготовления и монтажа строительных конструкций (наладке оборудования)

Как правило, вопросы учёта технологии изготовления и монтажа строительных конструкций, а также наладки технологического оборудования, касаются РП. Это неоговорённые в РП вопросы:

- не пояснено, как защитить от коррозии находящиеся в грунте части стальных конструкций;
- узел стальной конструкции сконструирован так, что невозможно качественно наложить сварной шов и проконтролировать;
- в сложном узле стальной конструкции не указан порядок сварки деталей;
- из-за высокого процента армирования и плотного расположения контурных стержней арматуры невозможно качественно уплотнить бетон;
- арматурные каркасы спроектированы так, что их невозможно соединить вместе.

Самофалов М., Папинигис В. Качество конструкторской проектной документации с точки зрения технической экспертизы в Литве

Поскольку решения технологических вопросов являются индивидуальными даже для серийных сооружений и напрямую зависят от условий строительной площадки и особенностей изготовителя, то это не позволяет обосновать замечания к уточнению такого рода вопросов, в особенности, если РКЧП не имеет опыта работы на производстве.

Заключительные выводы и рекомендации

На основе проведённых исследований сделаны выводы и подготовлены следующие рекомендации.

- Экспертиза проектов должна проводиться в обязательном порядке, и более того, проверке следует уделять больше внимания, а действующие регламенты следует уточнить и пополнить более конкретными требованиями (возможно, отдельно по типам конструкций: железобетонные, стальные, деревянные, фундаменты; возможно, – по группам сооружений).
- На сегодняшний день в текстовой части ТП немногие инженеры умеют грамотно выразить своё мнение и охарактеризовать ситуацию, подчеркнув особенности и возможные последствия.
- К повышению квалификации и аттестации специалистов следует предъявлять более жёсткие требования.
- Для разработки РП следует предусмотреть некоторый резерв времени, не допускающий параллельных процессов проектирования и строительства.
- В проектных организациях следует строго регламентировать систему внутреннего контроля проектных решений и соответствующей документации это актуально для небольших проектных организаций с незначительным опытом работы (а таких предостаточно).
- Конкурентная модель работы экспертных бюро и создаваемые ею условия ухудшают качество работы экспертов, поэтому следует создать альтернативную модель, компенсирующую недостатки создавшейся ситуации.

Опытному инженеру может показаться, что все оговорённые выше ошибки далеки и неактуальны. Это оптимистический взгляд на общую ситуацию. На самом деле, ошибки реальных проектов ещё более примитивны и гораздо более серьёзны. Авторы данной публикации надеются на положительное влияние начала распространения требований общеевропейских стандартов на качество проектов в будущем. К сожалению, первый этап введения евронорм для инженеров будет довольно сложным.

Литература

- STR 1.06.03. Statinio projekto ir statinio ekspertizė = Экспертиза проекта сооружения и экспертиза сооружения. Vilnius. 2005.
- Watts, F. B. Engineering Documentation Control Handbook = Справочник по экспертизе инженерной документации. 3rd ed. USA: William Andrew Publishing, 2008. 376 р. ISBN-13: 978-0-8155-1595-1.
 Eisner, H. Essentials of Project and Systems Engineering Management = Главное в организации инженерного
- Eisner, H. Essentials of Project and Systems Engineering Management = Главное в организации инженерного проектирования. 2nd ed. USA: John Wiley & Sons, 2002. 448 р. ISBN:0-4710-3195X.
- 4. Cloud, P. A. Engineering procedures Handbook = Справочник по организации инженерного проектирования. 1st ed. USA: William Andrew Publishing, 1998. 431 р. ISBN-13: 978-0-8155-1410-7.
- Shaw, M. C. Engineering Problem Solving A Classical Perspective = Задача принятия инженерного решения одна из классических перспектив. 1st ed. USA: William Andrew Publishing, 2001. 449 р. ISBN: 0-8155-1447-6.
- 6. STR 2.05.03. Statybinių konstrukcijų projektavimo pagrindai = Основы проектирования строительных конструкций. Vilnius, 2003.
- 7. LST EN 1990. Eurokodas. Konstrukcijų projektavimo pagrindai = Еврокод. Основы проектирования конструкций. Vilnius. 2004.
- 8. STR 1.05.06. Statinio projektavimas = Проектирование сооружения. Vilnius, 2009.
- 9. Перельмутер, А. В.; Сливкер, В. И. Расчётные модели сооружений и возможность их анализа. 3-е издание. М.: ДМК Пресс, 2007. 595 с.
- 10. Перельмутер, А. В.; Сливкер, В. И. Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы / Том 1. М.: СКАД Софт Пресс, 2007. 656 с.
- 11. Simmons, C.; Maguire, D.; Phelps, N. Manual of Engineering Drawing = Руководство по инженерному черчению. 3rd ed. Great Britain: Elsevier, 2009. 328 р. ISBN-13: 978-0-7506-8985-4.
- 12. STR 1.05.08. Statinio projekto architektūrinės ir konstrukcinės dalių brėžinių braižymo taisyklės ir grafiniai žymėjimai = Правила подготовки чертежей и графические обозначения архитектурной и конструктивной частей проекта сооружения. Vilnius, 2008.

*Михаил Самофалов, г. Вильнюс, Литва;

Эл. почта: ms@proex.lt

Климатические системы: переход от санитарно-гигиенических к физиологическим нормам

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

В предыдущей статье [1] мы рассмотрели, как решение фундаментальной части задачи влияет на решение прикладной (коммерческой) части этой же задачи. В данной статье мы продолжим рассматривать связь между фундаментальной и прикладной частями задачи обеспечения качества воздуха в помещении.

Базой для стандартов и предписаний по системам вентиляции (CEN, 1998; ASHRAE, 2004) является метод, в основу которого положена реакция органов чувств человека на воздух различного качества (сенсорная реакция). П. Оле Фангер отмечает [2], что часто встречаются высказывания о том, что сенсорные измерения более предпочтительны, чем химические измерения. На практике эта «философия» стандартов определяет невысокое качество воздуха, которым недовольно большее количество людей, чем ожидалось, что документально зафиксировано в результатах многих исследований в реальных условиях, в зданиях по всему миру, построенных согласно требованиям этих стандартов.

Таким образом, в стандартах и предписаниях по системам вентиляции физиология человека подменяется его ощущениями, а научный подход к решению проблемы обеспечения качества воздуха в помещении – решением задачи по предмету.

Например, на практике это может сводиться к следующему решению: если одной из задач государственной политики является энергосбережение, тогда для того, чтобы как можно быстрее отчитаться за проделанную работу, самым эффективным способом является отказ от вентиляции как самой энергопотребляющей системы в здании. Но так как это сделать невозможно, можно идти по простому пути снижения воздухообмена в помещении. Тем самым существенная экономия на капитальных и эксплуатационных затратах климатических систем может приводить к увеличению количества недожитых лет конечного пользователя климатических систем. При этом поставленная цель по снижению энергозатрат в здании будет достигнута, а проблема синдрома больного здания как была, так и останется самой актуальной проблемой.

Например, в журнале ABOK [3] В.И. Ливчак предлагает: «Жители, предпочитающие более высокую температуру воздуха, могут пойти на некоторое снижение воздухообмена — чтобы повысить температуру воздуха на 2° С, надо снизить теплопотери, как будет показано далее, на 4,5%. Учитывая, что расход тепла на нагрев инфильтрующегося воздуха составляет примерно половину от расчетных теплопотерь, надо сокращать воздухообмен на 4,5 · 2 = 9% или менее чем на 3 м³/ч из расчетных 30 м³/ч на жителя. Это будет совсем незаметно для человека, тем более что, например, в Германии, далеко не бедной стране, расчетный воздухообмен в квартирах при расчете нагрузки системы отопления в капитально ремонтируемых домах рекомендуется принимать исходя из 20 м³/ч на жителя».

Человек, конечно, не заметит, а вот как может отреагировать на это его организм, рассмотрим далее.

Следует особо подчеркнуть, что мы попытаемся рассмотреть проблему обеспечения качества воздуха в помещении, а не решить задачу по предмету. Так как на сегодняшний день из существующего большого количества решений задач по предмету ни одно не обеспечивает качества воздуха в помещении. И дело не столько в недостатке теоретических изысканий и экспериментальных данных, сколько в методологии постановки и решения фундаментальной части задачи.

Пусть под оптимальной физиологической нормой по CO_2 будем понимать такую концентрацию углекислого газа в воздухе под воздействием, которой кислотность крови может изменяться в интервале 7,35 \leq pH \leq 7,45. Обозначим данное состояние организма как состояние «A». При pH=7,35 и постоянном (круглосуточном и круглогодичном) воздействии углекислого газа концентрация CO_2 в воздухе должна не превышать C_A =380 ppm (рис. 1). Данный интервал кислотности соответствует зоне оптимума. Под допустимой (предельной) физиологической нормой будем понимать такую концентрацию углекислого газа в воздухе под воздействием, которой кислотность крови может изменяться в интервале 7,3 \leq pH \leq 7,5. Пусть данное состояние организма соответствует состоянию «С». Данный интервал кислотности включает в себя как зону оптимума, так и нижнюю с верхней зоны регуляции. При pH=7,3 и постоянном воздействии углекислого газа концентрация CO_2 в воздухе не должна превышать C_c =426 ppm. Пусть данное состояние организма соответствует состоянию «С». Данный интервал кислотности включает в себя как зону оптимума, так и нижнюю с верхней зоны регуляции. При pH=7,3 и постоянном воздействии углекислого газа концентрация CO_2 в воздухе не должна превышать C_c =426 ppm.

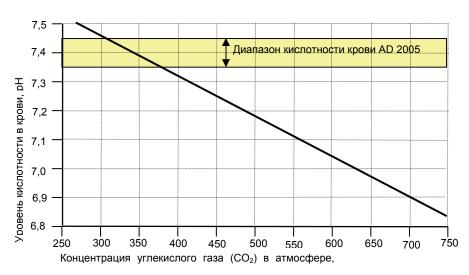


Рисунок 1. Изменение кислотности крови (рН) с увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере. Предполагается, что экспозиция данной концентрации CO₂ происходит круглосуточно и круглогодично [8]

Если предельной допустимой физиологической при нормой постоянном воздействии углекислого является концентрация СО2 в воздухе равная $C_{\text{доп}}$ =426 ppm и при данной концентрации СО2 крови кислотность будет уровне поддерживаться на pH=7,3,тогда данная физиологическая норма вытекает из законов природы и человек может ее только зафиксировать, но не изменить.

Пусть концентрация CO_2 в воздухе помещения поддерживается системой вентиляции на уровне C_1 . При этом выполняется условие $C_1 > C_{\text{доп}}$. Учитывая, что процесс нормализации функционирования может происходить от нескольких часов до нескольких суток.

Исходя из этого можно предположить, что и реакция организма на концентрацию CO_2 в воздухе превышающую $C_{\text{доп}}$ будет происходить так же от нескольких часов до нескольких суток.

Тогда пусть кислотность крови изменяется в зависимости от изменения концентрации СО2 в закону pH=f(C). воздухе помещения ПО Предположим, зависимость что данная линейная, т.к. в данном случае для нас принципиально важна не сама функциональная условия зависимость, а граничные функциональной зависимости. Пусть времени экспозиции $t_{\text{эксп}} = t_1 - t_0$ и постоянной концентрации углекислого газа воздухе В $C_1 > C_{\text{доп}}$ помещения кислотность крови pH=7,3. измениться С pH=7,4 до Тогда концентрацию C_1 при времени экспозиции $t_{\text{эксп}}$ санитарную определить как гигиеническую норму ПО CO_2 . Данную концентрацию можно считать нормой только после воздействия тогда, когда концентрацией при времени экспозиции $t_{\rm эксп}$ минимальное время восстановления организма составлять $t_{\text{вост}}$ = t_2 - t_1 , но уже концентрации углекислого газа $C_2 < C_{доп}$ (рис. 2).

На наш взгляд, искусство обеспечения качества воздуха в помещении заключается в том, что используя санитарные или гигиенические нормы, можно учитывать экономическую целесообразность, не приводя к физиологическим изменениям в организме человека.

Т.е. при условии, что время экспозиции $t_{\scriptscriptstyle \mbox{\tiny ЭКСП}}$ не будет превышать допустимого времени $t_{\scriptscriptstyle \mbox{\tiny ДОП}}$, а

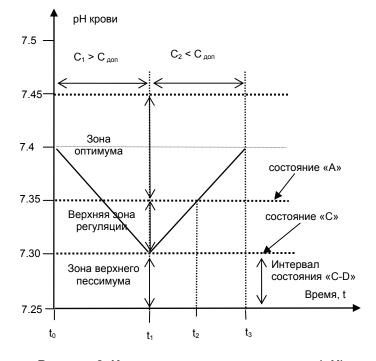


Рисунок 2. Изменение кислотности крови (рН) с течением времени $t_{
m skcn} = t_1 - t_0$ при воздействии постоянной концентрации углекислого газа в помещении C_1 , ppm, и временем восстановления $t_{
m socr} = t_3 - t_1$ при воздействии постоянной концентрации углекислого газа в помещении C_2 , ppm. Минимальное время восстановления $t_{
m socr} = t_2 - t_1$

не оудет превышать допустимого времени т_{доп}, а время восстановления t_{вост} будет соответствовать времени полного восстановления функционирования организма до уровня нормы. При этом климатическая система должна соответствовать согласованному с заказчиком или конечным пользователем времени восстановления. Иначе созданная климатическая система может привести к необратимым процессам в организме человека.

Таким образом, физиологическую норму можно отнести к законам биосферы, а гигиеническую или санитарную нормы — к законам социосферы, и значения этих норм отличаются. Поэтому нормирование температуры и кратности воздухообмена должны быть установлены как минимально допустимые границы, а качество воздуха в помещении должны обеспечивать не нормы, а проектировщик.

Для того чтобы учесть законы биосферы, сделаем предположение, что под воздействием высокой концентрации CO_2 в воздухе помещения на организм человека при переходе из состояния «C» в интервал состояния «C-D» химические реакции в организме человека из равновесного состояния переходят в разряд колебательных. Поясним свою мысль.

Ранее мы отмечали [4], что практически во всех органах человека были обнаружены патогенные биоминералы, которые в организме человека образуют активные органно-минеральные агрегаты (ОМА). Это следствие тех или иных физических, химических и биологических процессов в организме человека.

Таким образом, суть нашего предположения заключается в том, что под воздействием высокой концентрации CO_2 в воздухе помещения на организм человека (дисперсную систему) при переходе из состояния «С» в интервал состояния «С — D» в организме человека выполняется условие пересыщения, которое является причиной начала процесса кальцификации [5]:

$$S = [Ca^{2+}]_{HODM} / [Ca^{2+}]^{C}_{\Pi PPQ} = \{ [Ca^{2+}]_{HODM} \cdot K_1 \cdot K_{PACTB} \cdot K_2 / [(H^+)^2 \cdot \Pi P] \} \cdot PCO_2 > 1, (1)$$

где S – степень пересыщения;

 $[Ca^{2^+}]_{\text{норм}}$ – концентрация ионизированного кальция в крови при функционировании организма в режиме нормы; $[Ca^{2^+}]_{\text{пред}}^{\text{с}}$ – предельное значение растворимости ионизированного кальция в крови по карбонату кальция в состоянии «С».

ПР – произведение растворимости кальцита (CaCO₃), ПР = $3.8 \cdot 10^{-9}$;

 $K_{\text{раств}}$ – константа растворимости CO_2 в крови, $K_{\text{раств}}$ = 0,226 ммоль·(л·кПа⁻¹);

 K_1 – первая константа диссоциации угольной кислоты, $K_{a1} = 4,3 \cdot 10^{-7}$;

 K_2 – вторая константа диссоциации угольной кислоты, $\Pi P = 5.61 \cdot 10^{-11}$;

 $[H^{+}]$ – концентрация ионов водорода в крови; $pH_{non}=7,3$

P_{CO2} – парциальное давление в крови.

При достижении организмом состояния «D» будет выполнятся условие S ≤ 1 и процесс кальцификации закончится, но при этом значение pH среды где будет проходить процесс кальцификации будет в кислотной области и будет существенно отличатся от нормы.

Поскольку механизмы компенсации организма нацелены на поддержание постоянства pH, а не нормальных концентраций HCO_3^- и CO_2 . Поэтому окончательная нормализация может произойти только тогда, когда Pco_2 и $[HCO_3^-]$ достигают своих нормальных значений. Поэтому механизмы компенсации организма будут стремиться вернуть организм из состояния «D» в «A», но высокая концентрация CO_2 в помещении поддерживает высокое парциальное давление в крови P_{CO2} . Поэтому организм вернется в состояние «C», и процесс кальцификации произойдет снова. Таким образом, мы получаем в открытой системе около стационарного состояния, достаточно удаленного от химического равновесия, химические колебания (рис. 3).

Пусть при изменении концентрации C_{CO2} углекислого газа в воздухе помещения парциальное давление крови P_{CO2} изменяется по закону P_{CO2} = f (C_{CO2}). Условием начала процесса кальцификации в организме человека является степень пересыщения (1). Тогда, учитывая P_{CO2} = f (C_{CO2}), получаем:

$$S=[Ca^{2+}]_{HODM} \cdot (K_1 \cdot K_{pactb} \cdot K_2) / [(H^+)^2 \cdot \Pi P] \cdot f(C_{CO2})$$
 при pH_{дon}=7,3,

т.е. изменяя концентрацию CO_2 в воздухе помещения, можно управлять степенью пересыщения в организме человека по карбонату кальция и вызывать колебательные химические реакции, которые, угнетая биологические процессы, могут приводить к различным эффектам. Но вероятность возникновения различных эффектов зависит от коэффициента опасности воздействия углекислого газа. Определяется коэффициент опасности воздействия углекислого газа как

$$HQ = C_{CO2} / C_{CO2} IIJK$$

где C_{CO2} – концентрация углекислого газа в помещении, ppm;

 $C_{CO2\,\text{плк}}$ предельно допустимая концентрация углекислого газа в помещении, ppm.

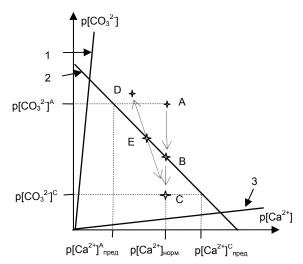


Рисунок 3. Область концентраций кристаллообразующих ионов

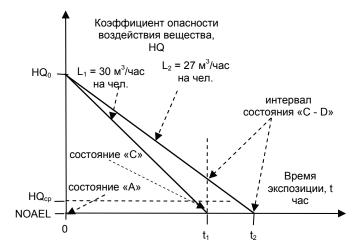


Рисунок 4. Зависимость изменения коэффициента опасности воздействия вещества от времени экспозиции при различных расходах наружного воздуха. Источник загрязнения в помещении отсутствует

Тогда высказывание В.И. Ливчака «надо сокращать воздухообмен на 4,5 · 2 = 9% или менее чем на 3 $M^3/4$ из расчетных 30 $M^3/4$ на жителя. Это будет совсем незаметно для человека», можно изобразить графически (рис. 4). Человек может и не заметить, но не его организм.

Пусть при расходе наружного воздуха L=30м³/ч на жителя коэффициент опасности воздействия углекислого газа за время экспозиции $t_{\text{эксп}}$ = t_1 изменился с HQ_0 до NOAEL и состояние организма жителя перешло из состояния «А» в состояние «С», тогда при воздействии повышенной концентрации СО₂ в воздухе помещения из-за заниженного воздухообмена на 3 м³/ч на жителя со средним коэффициентом опасности воздействия **УГЛЕКИСЛОГО** газа HQ_{cp} в течение времени экспозиции $t_{\text{эксп}}$ = t_2 - t_1 возникает риск возникновения колебательных химических реакций в организме проявлению адаптационного И К синдрома. При этом мы подразумеваем, что норма в 30 м³/ч на жителя соответствует экологической обстановке на сегодняшний день, но нельзя исключать, что данная норма занижена и не отвечает современным реалиям. И все финансовые затраты ПΩ ликвидации адаптационного синдрома в организме человека будут ложиться самих пользователей на климатических систем [6, 7].

Вывод

По роду своей деятельности специалисты по климатизации зданий распоряжаются огромной свободной энергией, которая заложена двухфазной системе, и некомпетентные действия этих специалистов могут высвободить эту энергию, привести к разрушительным может процессам в организме конечных пользователей климатических систем.

Литература

- Гошка Л.Л. Энергосбережение и эффективность климатических систем //Инженерно-строительный журнал, №1/2010. СПб, 2010.
- 2. Оле Фангер П. Качество внутреннего воздуха в зданиях, построенных в холодном климате // АВОК, №2/2006.
- 3. Ливчак В.И. О расчете систем отопления, энергосбережении и температуре воздуха в отапливаемых помещениях жилого дома // АВОК, №2/2010. М., 2010.
- 4. Гошка Л.Л. Климатические системы: влияние воздуха на организм человека // Инженерно-строительный журнал, №1/2009. Спб, 2009.
- 5. Гошка Л.Л. Математическое моделирование и экспериментальные данные по росту кристаллов в двухфазной системе // Инженерно-строительный журнал, №4/2009. СПб, 2009.
- 6. Гошка Л.Л. Вам как: дешево или правильно // Журнал «С.О.К.». №9/2007. М.. 2007.
- Гошка Л.Л. Из практики по созданию СКВ и СВ. Работа с заказчиком на этапе анализа // Журнал «С.О.К.», №7/2008. M., 2008.
- Робертсон Д.С. О том, как влияет растущий уровень СО2 в атмосфере на организм человека // Журнал «C.O.K.», №4/2008. M., 2008.

*Леонид Леонидович Гошка, г. Сыктывкар

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

Информационная модель здания (BIM)

К.т.н., генеральный директор Е.В. Криницкий*, ООО «ВентСофт»

Одной из наиболее интересных тем в области автоматизированного проектирования является концепция, получившая название «Информационная модель здания» (ВІМ). Давайте внимательно разберемся, что это такое и что нам может дать ее применение на практике.

Для начала, несколько слов о том, что такое аббревиатура ВІМ, которая в последнее время неизменно сопровождает все рекламные буклеты производителей программного обеспечения. Впервые она была предложена профессором Технологического института Джорджии (Атланта, США) Чарльзом Истманом, который также является профессором нескольких других университетов и директором Центра строительных наук и компьютерной графики. Аббревиатура «ВІМ» расшифровывается как «Building Information Model», или «Информационная модель здания». Сама концепция получила развитие в 70-х годах прошлого века, и в 1987 году эту концепцию впервые внедрила на практике компания Graphisoft в широко известном в нашей стране пакете ArchiCAD. Далее, идею стали использовать в своих разработках такие компании как Autodesk и другие известные разработчики систем автоматизированного проектирования.

Что же такое BIM? Для начала рассмотрим, каким образом проектирование выполняется без использования этой концепции. При черчении без применения какой-либо САПР, просто на листе бумаги, любой чертеж состоит из набора линий. Каким же образом можно определять тот или иной элемент на чертеже? В этом случае степеней свободы не так уж и много – толщина линии, ее стиль и цвет. При этом первая и последняя характеристики в силу их возможного разночтения могут быть не очень информативны. Следующий уровень - условные обозначения, с помощью которых можно определить вид того или иного объекта. Использование условных обозначений также является достаточно ограниченным способом передачи информации – например, символ, обозначающий дроссель-клапан на чертеже, не говорит о его конкретной модели, размере и т.п. Для дополнения недостающей информации на чертеже используются надписи - на выносных линиях, в пояснительных записках, в таблицах и т.д. Множество надписей на чертежах при их высокой плотности делают чертеж трудночитаемым, перегруженным информацией. Конечно, можно сделать множество дополнительных местных видов, но при этом значительно возрастают трудозатраты, и появляется необходимость синхронизировать изменения, когда достаточно просто что-либо изменить в плане и забыть внести изменения на разрезе или местном виде. В больших проектах, где задействованы несколько различных проектировщиков, проектных отделов или организаций, синхронизация и утверждения изменений в проекте требуют много времени, приводят к дорогостоящим ошибкам, и множество проектных решений принимается «по месту», что зачастую значительно увеличивает сроки и стоимость реализации проекта. Конечно, это далеко не все проблемы, которые возникают при подобном подходе к проектированию.



Рисунок 1. Проект центрального офиса Tapiola Group; проектирование инженерных сетей – Olof Granlund Oy (Финляндия)

С появлением компьютеров и САПР (систем автоматизированного проектирования) часть проблем была решена: появились возможности более эффективно использовать и сохранять типовые элементы, решения, расширились возможности сохранения, синхронизации и быстрой передачи данных. Однако во многих случаях в области архитектуры, конструкций зданий и инженерных сетей компьютеры и САПР стали лишь заменой кульманов – все те же линии, штриховки, символы и задачи по синхронизации данных на чертежах. Например, при черчении в двух измерениях зачастую отсутствует возможность синхронизации планов и разрезов. В результате, технология изменилась, а большинство старых проблем осталось. Например, три линии при подобном подходе, с точки зрения САПР, – это три линии, а не воздуховод некого сечения и формы.

Разумеется, следующим логичным этапом стало создание САПР, в которых определялись не только линии, круги, прямоугольники и т.п., но и объекты, которые моделировали те или иные физические объекты (воздуховоды, трубопроводы, фланцы, арматура) с учетом их свойств (геометрические размеры, материалы, теплоносители и их физические величины: скорость, температура, расход и пр.). То есть чертежи стали содержать не только такие базовые элементы, как линии или прямоугольники, но и объекты (или сущности), которые содержат в себе информацию об их природе, которая является их однозначным описанием.

Логическим продолжением концепции является использование черчения в трехмерном пространстве (3D), где объекты представлены с учетом их полных геометрических характеристик, что позволяет их точно располагать в пространстве, учитывая их взаимное расположение и их логическую взаимосвязь.

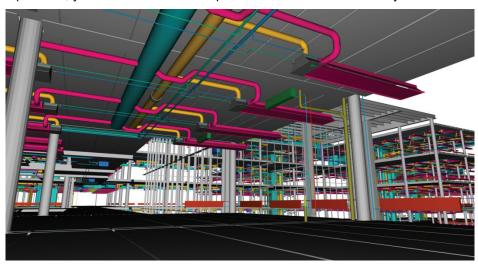


Рисунок 2. Проект центрального офиса Tapiola Group; проектирование инженерных сетей – Olof Granlund Oy (Финляндия)

Резюмируя вышесказанное, в этом случае мы имеем возможность чертить в трехмерном пространстве, используя реальные модели существующих объектов, которые содержат в себе полную техническую информацию, необходимую для расчета системы и однозначной идентификации самих объектов. В случае замены одного объекта на другой вся информация, соответственно, также заменяется, и свойства системы в целом изменяются автоматически. Более того, появляется возможность более интеллектуального отслеживания взаимосвязи элементов — например, если изменить диаметр трубы, то диаметр и тип фланцев изменится автоматически, и если при этом количество болтов для фланца увеличится, то это сразу отразится на общей спецификации материалов. Также, если вы имеете трехмерную модель системы, состоящую из множества объектов, то САПР может сама построить разрезы и местные виды, а объекты на них будут связаны с исходной моделью: при изменении типа объекта содержание подписей на чертежах изменится автоматически не только в самой модели, но и на разрезах. Это позволяет решить проблемы, связанные с контролем внесения изменений в чертежи.

Но даже при рассмотрении вышесказанного все еще остаются вопросы, каким образом можно совмещать работу нескольких человек или даже компаний. Особенно учитывая, что разные разделы зачастую требуют использования различных САПР от различных производителей.

Перед тем как ответить на этот вопрос, давайте расширим его постановку. Помимо проектировщиков над проектом работают архитекторы, конструкторы, строители. Далее, после успешной реализации проекта здание надо эксплуатировать, реконструировать, а в отдаленном будущем еще и утилизировать (информация о конкретных материалах, используемых при строительстве данного здания, позволит правильно организовать его переработку уже после окончания его жизненного цикла с минимальным ущербом для окружающей среды).

Следовательно, при работе над проектом следует рассматривать его не только в пространстве, как совокупность объектов, но и во времени – четвертом измерении. Такой подход чаще всего называют 4D. В течение жизненного цикла здания информация может изменяться, дополняться и объединяться. То есть эта информация, описывающая текущее состояние здания (разумеется, с историей изменений), является своеобразным «цифровым клоном» здания.

Объединяя все вышесказанное, для реализации всех рассмотренных идей, совершенно необходим единый открытый стандарт хранения и обмена подобной информацией, который в свою очередь был бы независим от конкретного производителя программного обеспечения и содержал все необходимую и достаточную информацию для обеспечения жизненного цикла здания. Как раз целью ВІМ и является создание единой базы для подобного стандарта.

В настоящее время существуют два альтернативных стандарта, которые реализуют ВІМ: это стандарт «National 3D-4D-BIM Program», курируемый американским агентством «GSA» (http://www.gsa.gov) и стандарт «National BIM Standard™ (NBIMS)», разрабатываемый альянсом «buildingSmart» (http://www.buildingsmart.com/) и Национальным институтом строительных наук (http://www.nibs.org/) как структурная база, на основе которой ей же разрабатывается практическая реализация в виде стандарта «IFC».

В заключение подчеркнем основные преимущества ВІМ:

- Рассматривается весь жизненный цикл проекта от концепции до эксплуатации и утилизации.
- При проектировании используются объекты, обладающие всей необходимой геометрической и технической информацией (стены, двери, окна, трубопроводы, воздуховоды и т.д.). Использование подобных объектов в значительной мере ускоряет процесс проектирования и сводит к минимуму возможные ошибки.
- Возможность совмещения разделов, созданных при использовании различных САПР: совместимость организуется на уровне стандарта.
- Проектирование выполняется в трехмерном пространстве с учетом времени (4D).
- Открытый стандарт обмена информацией: существует ряд бесплатных приложений, которые могут читать и отображать модели в стандарте IFC.

Литература

1. BIM Handbook, A Gide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contructors. Chuck Estmann, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston. Wiley 2008.

* Евгений Викторович Криницкий, Москва Тел. paб.: +7(495)649-32-88; эл. почта: info@ventsoft.ru



VIII МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ ВЫСТАВКА-ЯРМАРКА



YNTACTPOŇMAPKET-2010

14-16 апреля 2010

г. Чита, Выставочный Центр "Забайкальский"

- строительные и отделочные материалы, изделия и конструкции, инструмент;
- строительная спецтехника, строительные работы;
- дорожное строительство;
- новые технологии;
- столярные и скобяные изделия, окна, двери, жалюзи и т.д.;
- системы водоснабжения, канализации, электроснабжения, газоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования;
- системы охранной сигнализации и противопожарной защиты.

Крупнейшая выставка Забайкалья!

672010, г. Чита, ул. Ленина, 1, т./ф.: (3022) 33-45-12, т.: 33-46-02. E-mail: vcenter@yandex.ru

Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов

Бакалавр Н.В. Параничева*; старший преподаватель Т.В. Назмеева, ГОУ Череповецкий государственный университет

В настоящее время российские и зарубежные исследователи уделяют большое внимание проблеме обеспечения надежности различных строительных конструкций как на стадии их возведения, так и во время эксплуатации. Растет необходимость обеспечить надежную эксплуатацию жилых домов, административных и производственных зданий и сооружений. Ремонт и усиление строительных конструкций в современной России требуют значительных материальных затрат.

К настоящему времени в отечественной и зарубежной практике накоплено множество различных способов и конструктивных приемов усиления. Традиционные способы усиления железобетонных конструкций с использованием стальной арматуры сравнительно дорогостоящие, трудоемкие и в ряде случаев не обеспечивают выполнение соответствующих работ без выключения сооружения из эксплуатации. Поэтому существует необходимость использования новых технологий и способов усиления, а также использования современных материалов. За рубежом для усиления железобетонных конструкций успешно применяют композитные материалы на основе высокопрочных углеродных волокон, которые уже получили широкое применение в аэрокосмической и авиационной промышленности. В большинстве случаев усиление конструкций углепластиками оказывается конкурентоспособно по сравнению с традиционными методами, как по срокам производства работ, так и по стоимости. Практика строительного производства в России знает немало успешных примеров использования углепластиков при усилении железобетонных и каменных конструкций ряда зданий и сооружений.

Углеродные композиционные материалы (углепластики) на основе фибры изготавливаются из продолговатых микроволокон, омоноличенных в отверждающем полимере (эпоксидные и полиакринитриловые смолы). Углеродные волокна обладают высоким модулем упругости, высокой прочностью и жесткостью, поэтому в настоящее время они находят все большее применение при создании композиционных материалов, и объем их производства за последние 10 лет увеличился на порядок.

Углеродные волокна были разработаны еще в начале 60-х годов прошлого века в Великобритании. Они изготавливаются из различных исходных материалов, называемых прекурсорами.

Физико-механические свойства волокон сильно зависят от прекурсора и условий карбонизации, т.е. от степени насыщения исходного материала углекислым газом, т.к. они определяют степень дефектности образующегося кристалла.

Физико-механические свойства таких материалов определяются типом и количеством применяемых волокон, их ориентацией и распределением в поперечном сечении ленты, а также объемным соотношением волокон и отверждающего полимера в композите. Механические характеристики применяемых в строительстве волокон углеродных композиционных материалов приведены в таблице 1 [1].

Тип фибры	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, ГПа	Деформация удлинения, %	Плотность, т/м ³	
Углерод высокопрочный	3400 – 3900	200 – 250	1,5-2,5	1,75-1,95	
Углерод высокомодульный	2900 – 4000	300 – 700	0,45 -1,2	1,75-1,95	

Таблица 1. Физико-механические свойства некоторых типов волокон

Самым главным недостатком углеродных композиционных материалов является их довольно высокая стоимость, которая компенсируется рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с другими материалами, особенно в вопросах усиления зданий. Это возможность проведения работ без остановки технологического процесса, низкая плотность и малый вес, способность повторять практически любые формы усиливаемой конструкции, отсутствие громоздких приспособлений для монтажа, невосприимчивость к агрессивным средам.

Несмотря на преимущества углепластиков по сравнению с другими материалами, особенно в вопросах усиления зданий, данный вид усиления еще не получил широкого распространения в нашей стране.

Рассмотрим использование углепластиков на примере города Череповца. Это город с развитой инфраструктурой. Он окружен рядом промышленных предприятий, одним из которых является известный металлургический завод ОАО «Северсталь». В городе осуществляется новое строительство и производится

Параничева Н.В., Назмеева Т.В. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов

реконструкция старого фонда. Основными объектами усиления как раз и являются административные и производственные здания и сооружения металлургического комбината.

Опрос широкого ряда проектных и строительных организаций показал, что в городе в принципе не применяется усиление конструкций с использованием углепластиков. Конечно, многие слышали, видели и чтото читали об углепластиках, но никто не применял их в существующих конструкциях, нет ни одного реального примера. Отсутствие инженерных решений по применению углепластиков в городе, прежде всего, объясняется отсутствием опыта, недостаточной обеспеченностью нормативной и расчетной литературой, и, конечно, высокой стоимостью материала.

Рассмотрим применение углепластика в качестве усиления железобетонной плиты перекрытия, опирающейся на консоли ригеля. Плиты железобетонные ребристые размером 5660х1190х350 мм находятся в здании административно-бытового комплекса (АБК). Здание АБК находятся на территории цеха ОАО «Северсталь» г. Череповец. Здание АБК эксплуатируется с 1969 года. Плиты находятся на отметке +3.600 над раздаточным отделением столовой АБК, непосредственно над плитами находятся гардероб и тамбур перед душевой.

Авторами статьи были получены результаты технического обследования, выполненного организацией «Центр технической диагностики» в 2009 году. В результате технического обследования было установлено следующее: в процессе эксплуатации здания была выполнена перепланировка стен и замена существующей конструкции пола современным материалом. В связи с этим произошло изменение нагрузок и появление незначительных продольных трещин на нижней поверхности плиты. По результатам обследования было принято решение об усилении конструкции плиты.

Характер использования помещения под плитами (помещение столовой) подразумевает непрерывный режим использования помещения, т.к. цех работает круглосуточно. Территория цеха довольно значительна, другой столовой рядом нет, прекращение работы столовой в целях выполнения работ по усилению плит нежелательно по понятным причинам, т.к. необходимы мероприятия по обеспечению работников цеха полноценным питанием, что приведет к экономическим затратам. В данном случае проводить традиционное металлическое усиление нежелательно, так как возможная конструкция будет тяжелой и трудоемкой в монтаже, потребует проведения сварочных работ и применения дополнительного оборудования. Также будут необходимы затраты времени на выполнение подготовительного периода и на проведение самих работ, что потребует прекращения работы столовой.

В связи с этим, на наш взгляд, усиление углеродными композиционными материалами в данном случае наиболее целесообразно.

Усиление железобетонной плиты, работающей на изгиб, производится внешним армированием из углепластика путем приклеивания последнего в растянутой зоне конструкции с расположением фибры параллельно максимальным растягивающим усилиям (рис. 1).

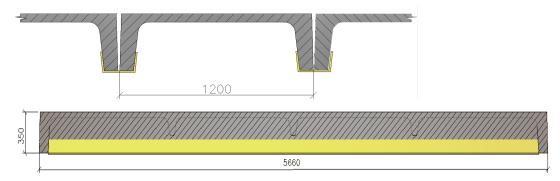


Рисунок 1. Система усиления углепластиком

Размеры и толщина углепластика, необходимые для обеспечения требуемой прочности, определяются расчетом. При проектировании усиления железобетонных конструкций с использованием внешнего армирования из фиброармирующих пластиков (ФАП) используется метод расчета по предельным состояниям. Важным условием надежной эксплуатации усиленных с помощью ФАП конструкций является соблюдение конструктивных требований [1].

Материалы различных производителей имеют различные прочностные и деформативные характеристики, поэтому для расчетов принимаются характеристики по ГОСТ 245.601-80. Для выполнения самих расчетов было использовано «Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами», основанное на результатах многочисленных экспериментальных исследований и данных практического применения композиционных материалов для усиления строительных конструкций в России и

Параничева Н.В., Назмеева Т.В. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов

за рубежом. В Руководстве приведена методика расчета усиливаемых железобетонных конструкций внешним армированием композиционными материалами.

Основные положения, принятые в ходе расчета:

- При проектировании усиления железобетонных конструкций использовался метод расчета по предельным состояниям.
- Система усиления спроектирована на восприятие растягивающих усилий с учетом совместной деформации внешней арматуры и бетона конструкций.
- В предельном состоянии изгибаемого элемента усилия в сжатой зоне воспринимаются бетоном и сжатой стержневой арматурой, а в растянутой – стержневой арматурой и внешней композитной арматурой.
- При проектировании усиления конструкций учтено, что несущая способность конструкции достаточна для восприятия постоянной и ограниченной временной нагрузки в случае повреждения системы усиления по каким-либо причинам.

Особенностью применения углепластиков являются следующие обязательные требования:

- система усиления может применяться, если фактическая прочность на сжатие бетона конструкции составляет не менее 15 МПа;
- максимальная эксплуатационная температура работы не должна превышать температуру стеклования полимерной матрицы и клея (ориентировочно 60-150°C);
- необходимо строго соблюдать технологию, ремонтный слой должен быть надежным основанием для наклейки усиливающих накладок и работать с ними совместно;
- трещины с раскрытием более 0,3 мм необходимо заинъецировать;
- необходимо накладывать ограничения на величину упругих деформаций бетона, работающего совместно с композиционным материалом, т.к. последние не обладают пластическими свойствами, их разрушение носит хрупкий характер;
- необходимо ограничивать предельно допускаемое усилие, возникающее в арматуре, с помощью коэффициента k_m , что обеспечивает отсутствие отслоения углепластика при расчетных нагрузках, т.к. с увеличением жесткости возрастает вероятность отслоения.

Выражение (1) даёт оценку коэффициента условия работы фиброармирующего пластика k_m , который зависит от жесткости элемента усиления [1]:

$$k_{m} = \begin{cases} \frac{1}{60\varepsilon_{ft}} \left(1 - \frac{nE_{ft}t_{f}}{360000} \right) \le 0.9\\ \frac{1}{60\varepsilon_{ft}} \left(\frac{90000}{nE_{ft}t_{f}} \right) \le 0.9 \end{cases}$$
(1)

Расчет по прочности сечений изгибаемых элементов, усиленных углеродным композиционным материалом, производят из общего условия: $M < M_{ult}$.

Проверка сечения плиты показала, что эксплуатационный момент от существующий нагрузки M=70,5 кНм превышает прочность сечения M=51,5 кНм.

Наиболее распространенными формами композиционных материалов являются холсты различного плетения, полосы и пластины. Холсты представляют собой гибкую ткань с одно- или двунаправленным расположением волокон. Для улучшения стабильности формы в поперечном направлении ткань снабжена специальными термопластиковыми волокнами. При установке на конструкции холсты утапливаются в полимерный клей — матрицу, обеспечивающую их плотное прилегание к усиливаемой конструкции. Они выполняются непосредственно на строительном объекте. Полосы или пластины — это изготовленные в заводских условиях изделия из композиционного материала, непосредственно приклеиваемые на заранее подготовленную поверхность усиливаемой конструкции.

Результаты расчетов нескольких вариантов углеродных композиционных материалов, используемых в качестве усиления данной плиты, представлены в табл. 2.

Марка фирмы-производителя	Толщина, мм	Ширина, мм	<i>Е,</i> ГПа	R _{k,} MΠa	М, кН	Недонапряжение (∆), %
	Углепла	стики – лами	наты			
Sika® CarboDur® S	1,2	660	>155	2400	301	15
Sika® CarboDur® M	1,4	840	>210	2000	306	27
Sika® CarboDur® H	1,4	1000	>300	1400	279	44
Mapei® Carboplate E 170	1,4	750	170	>3100	303	19
	Углепласт	ики – ткани (х	олсты)			
MapeWrap® C UNI-AX 600/10;	0,335	300	230	4800	210	10
MapeWrap® C UNI-AX 300/20;	0,167	200	230	4800	131	19
S&P® C Sheet 640	0,19	450	640	2650	285	5
S&P® C Sheet 240 – 200,	0,117	300	240	3800	111	5

Таблица 2. Расчетные характеристики различных углеродных композиционных материалов

Наилучший результат показывает материал S&P® C Sheet 240-200, так как при его использовании не только обеспечивается необходимая прочность сечения, но и прочность внешней арматуры используется почти полностью.

Результаты расчета могут быть подтверждены моделью усиления железобетонных плит углеродными композиционными материалами, созданной в программно-вычислительном комплексе. Но моделирование ребристой плиты затруднено в связи с тем, что расчетная схема поперечного сечения ребристой плиты представляет собой тавр, сжатая зона которого расположена в полке, а растянутая – в ребре. Также существует необходимость создания модели с использованием метода объемных конечных элементов, которая отразила бы совместную работу плиты, клея и углепластика.

Важной проблемой в вопросе использования углеродных материалов в качестве усиления также является долговечность, которая связана больше не с работой углеродного волокна, а с работой клеящего состава. Должна быть обеспечена соответствующая адгезия, которая сохранилась бы на протяжении десятков лет и гарантировала бы надежную совместную работу железобетонной плиты, углеродного материала и клеящего состава.

Использование композиционных материалов может положить начало новому направлению реконструкции железобетонных инженерных сооружений, обеспечивающему существенное сокращение трудоемкости, стоимости и сроков выполнения работ. Применение углеродных композиционных материалов в качестве усиления – перспективное направление строительной отрасли.

Литература

- Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. М., 2006.
- 2. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. M., 2004.
- Шилин А.А. и др. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. М., 2004.

* Наталья Владимировна Параничева, г. Череповец

Тел. paб.: +7(8202)28-48-61; эл. почта: NatashaSunny@yandex.ru

Особенности очистки воды из р. Вуокса в летний период

Д.т.н., профессор Н.И. Ватин, к.х.н., доцент В.Н. Чечевичкин, ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет; технический специалист А.В. Чечевичкин*, ПНИПКУ «Венчур»

Водная система р. Вуокса (Ленинградская обл.) является крупнейшим водохозяйственным объектом Карельского перешейка, загрязнение воды в котором вследствие интенсивной промышленной и антропогенной нагрузки непрерывно увеличивается. Главными загрязнителями вод являются с/х предприятия, осуществляющие свою деятельность вблизи водоохраной зоны этого водоема. Другим, все более нарастающим воздействием на экосистему р. Вуокса является массовая застройка берегов этого водоема. В настоящее время частные дома возводятся не только в водоохраной зоне, но и непосредственно на берегах озер и проток.

Основным методом очистки этих вод, характеризующихся в летний период невысокой мутностью и щелочностью, значительной цветностью и высокой перманганатной окисляемостью, является обработка их растворами коагулянтов с последующей сорбционно-фильтрационной доочисткой и бактерицидной обработкой. [1, 2]

Целью данной работы являлось выяснение причин, вызвавших ухудшение работы установки комплексной очистки воды из р. Вуокса на базе отдыха «Политехник» и изучение возможностей их устранения.

Наблюдения за составом воды р. Вуокса и ее очистка проводилась на базе отдыха «Политехник» в пос. Горы Призерского района Ленинградской области в летний период сезонов 2004 – 2009.

В таблице представлены результаты наблюдения за составом воды из р. Вуокса в районе пос. Горы, непосредственно в месте водосбора летнего лагеря базы отдыха «Политехник». Из таблицы видно, что в воде р. Вуокса в летнее время наблюдается уменьшение рН (закисление воды) и уменьшение общей и гидрокарбонатной щелочности. Остальные параметры воды, хотя и имеют достаточно широкие пределы колебания (особенно цветность и окисляемость), но сохраняют тенденцию к постоянству. Пробы воды отбирались ежегодно в период 25 июня — 1 июля и анализировались в лаборатории СЭС г. Приозерска.

Nº	Определяемый	ед.	Годы (ин	Тенденция					
п/п	показатель	измерения	2004	2005	2006	2007	2008	2009	изменения показателя
1	Цветность	град	65	69	78	72	58	76	постоянен
2	рН	ед. РН	7,45	7,62	7,42	7,32	7,25	7,18	уменьшается
3	Перманг. окисляемость	мгО₂/дм ³	11,0	12,1	10,9	11,7	12,5	99,9	постоянен
4	Сухой остаток	мг/дм ³	59	57	49	60	62	48	постоянен
5	Железо общее	мг/дм ³	0,53	0,60	0,61	0,55	0,50	0,59	постоянен
6	Марганец	мг/дм ³	0,07	0,09	0,07	0,07	0,09	0,07	постоянен
7	Алюминий	мг/дм ³	0,08	0,06	0,07	0,07	0,06	0,08	постоянен
8	Цинк	мг/дм ³	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	постоянен
9	Аммоний	мг/дм ³	0,29	0,25	0,30	0,27	0,25	0,22	постоянен
10	Щелочность	ммоль/дм ³	0,43	0,51	0,45	0,42	0,35	0,30	уменьшается
11	Гидрокарбо- наты	мг/дм ³	27,0	30,6	27,2	25,1	21,4	18,3	уменьшается
12	Общая жесткость	град	0,56	0,50	0,40	0,45	0,55	0,51	постоянен
13	Кремний	мг/дм ³	1,2	1,3	1,5	1,5	1,2	1,2	постоянен
14	Медь	мг/дм ³	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	постоянен

Таблица 1. Состав воды р. Вуокса в летний период (25.06 – 01.07)

Установка комплексной очистки воды, схема которой представлена на рис. 1, представляла собой однодозаторную систему введения коагулянта (сульфата алюминия) с напорной реакционной емкостью, песчано-цеолитовым фильтром, а также угольным и картриджным механическим фильтрами тонкой доочистки и УФ-обеззараживателем.

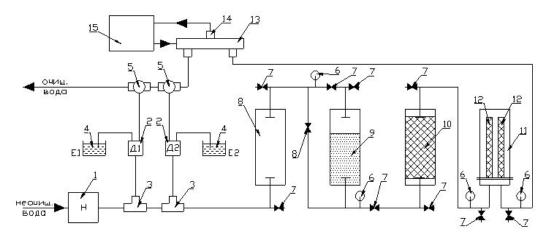


Рисунок 1. Схема установки комплексной очистки и обеззараживания вод р. Вуокса.

1 – насос второго подъема; 2 – дозаторы реагентов; 3 – инжекторные узлы; 4 – емкости с реагентами; 5 – импульсные расходомеры; 6 – манометры; 7 – краны; 8 – реакционная емкость; 9 – песчаноцеолитовый фильтр; 10 – угольный фильтр; 11 – фильтр тонкой очистки; 12 – фильтроэлементы; 13 – УФ-обеззараживатель; 14 – датчик излучения; 15 – блок питания и контроля

Установка с однодозаторной схемой обеспечивала удовлетворительную коагуляцию сульфата алюминия за счет естественной щелочности воды (0,45 ммоль/л) при высокой цветности (82 градуса) в период с 2004 по 2007 г. В сезон 2008 г. произошло уменьшение щелочности (до 0,36 ммоль/л) и цветности (до 70 градусов) воды, что не позволило по однодозаторной схеме получать качественное хлопьеобразование коагулянта в напорной емкости. Однако удовлетворительная очистка воды все же была достигнута в режиме контактной коагуляции на песчано-цеолитовом фильтре, содержащем осадок гидроксида алюминия (т.е. песчаный фильтр отмывался частично).

В сезон 2009 г. произошло еще большее уменьшение (по сравнению с 2008 г.) щелочности (до 0,3 ммоль/л) и цветности (до 52 градусов) воды, что в итоге не позволило по однодозаторной схеме эффективно обеспечить коагуляцию.

В связи с этим в лабораторных условиях на воде р. Вуокса была изучена возможность применения защелачивания для обеспечения удовлетворительной коагуляции, а также использования другого коагулянта – оксихлорида алюминия. Результаты представлены на рис. 2, где для обоих коагулянтов (сульфата и оксихлорида алюминия) приведены зависимости величин рН (и, соответственно, диапазонов образования хлопьев) от величин их доз (по объемам 10% растворов).

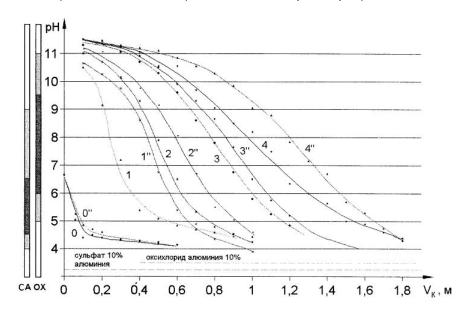


Рисунок 2. Зависимость значения pH от величин доз коагулянтов Vк для различных доз защелачивающего агента (10% раствор NaOH)

0, 1, 2, 3, 4 — дозы щелочи соответственно — 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 мл для раствора сульфата алюминия

0", 1", 2", 3", 4" – дозы щелочи соответственно – 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 мл для раствора оксихлорида алюминия.

Нижние пунктирные линии соответствует значениям рН для 10% (вес) растворов сульфата алюминия и оксихлорида алюминия в дистиллированной воде.

Диаграмма слева изображает диапазоны рН при коагуляции (СА — сульфат алюминия, ОХ — оксихлорид алюминия). Темное поле — хорошее хлопьеобразование. Серое поле — слабое хлопьеобразование (муть). Белое поле — отсутствует хлопьеобразование.

Видно, что коагулянты имеют различные диапазоны pH выпадения хлопьев: для сульфата алюминия это 4,4-7,5, а для оксихлорида 6,0-9,5. Кроме того, применение щелочи увеличивает точность поддержания диапазона pH коагуляции, поскольку кривые на рис. 2 уменьшают углы наклона при увеличении доз щелочи. Однако это приводит к увеличению расхода коагулянта.

На рис. 3 представлены зависимости необходимых доз раствора коагулянта от соответствующих доз раствора щелочи для обеспечения диапазона рН удовлетворительной коагуляции. Видно, что для обоих коагулянтов это линейные зависимости, отсекающие на оси ординат значения, соответствующие дозам коагулянта без добавки щелочи. Эти значения (особенно очень малы ДЛЯ оксихлорида алюминия), что не позволяет точно поддерживать заданный режим коагуляции при однодозаторной схеме.

Таким образом, применение двухдозаторной схемы (коагулянт – защелачивающий агент) позволяет более надежно осуществлять процесс коагуляционной очистки воды из р. Вуокса и применять в качестве коагулянта не только сульфат, но и оксихлорид алюминия.

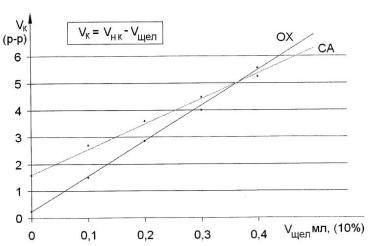


Рисунок 3. Зависимость количества раствора коагулянта V_{κ} от количества щелочи V_{μ} . ОХ – оксихлорид алюминия. СА – сульфат алюминия

Воды р. Вуокса, характеризующиеся низкими значениями рН, общего солесодержания, жесткости и щелочности, являются агрессивными водами, способствующими активной коррозии стальных трубопроводов [3, 4]. Одной из дополнительных причин ухудшения очистки в целом было загрязнение исходной (неочищенной) воды продуктами коррозии и стального подающего трубопровода, которые плохо удалялись на существующей коагуляционной установке.

Было изучено поступление в воду ионов Fe^{2+} , Mn^{2+} и Zn^{2+} из стального оцинкованного трубопровода длиной более 200 м и диаметром d_y =50 мм в летний период (июнь-июль 2008 и 2009 года). Трубопровод имел множественные нарушения цинкового покрытия на стали в местах сварки кусков труб встык, а также в точках приварки его к стержням-опорам, забитым в грунт. В трубопроводе были выполнены многочисленные отводы, на концах которых установлены запорные вентили из латуни.

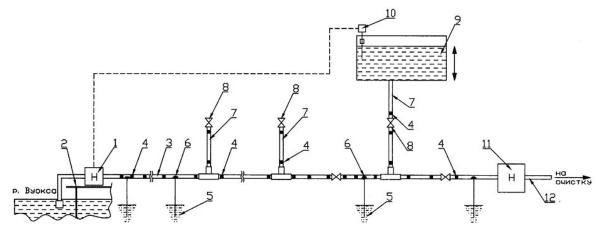


Рисунок 4. Схема системы подачи воды из р. Вуокса для очистки.

1 – насос первого подъема; 2 – водозаборное сооружение; 3 – напорный трубопровод d_y= 50 мм;

4 – места нарушения Zn-покрытия сваркой; 5 – опора-заземление; 6 – места сварки опор с
трубопроводом; 7 – отводы; 8 – краны; 9 – бак-накопитель; 10 – система регулировки уровня;

11 – насос второго подъема; 12 – напорный трубопровод второго подъема.

Схема подачи воды из р. Вуокса для дальнейшей ее очистки и потребления представлена на рис. 4. Исходная вода забирается насосом для потребления сразу же после прохождения ее через каменистый порог, где насыщается кислородом воздуха вследствие сильной турбулизации. Такая, крайне агрессивная, вода насосом подается по трубопроводу в напорную емкость, которая заполняется через нижний трубопровод по сигналу датчика уровня. Отличительной особенностью данной системы является отсутствие контакта потребляемой воды, находящейся в трубопроводе, с кислородом воздуха, т.к. в процессе водопотребления обменивается только нижняя часть напорной емкости с водой (емкость играет роль расширительного бака).

Это приводит к тому, что двухвалентное железо, появляющееся в трубопроводе вследствие его коррозии, не окисляется далее до трехвалентного, и в таком виде поступает на очистку.

Данный трубопровод в комплексе с агрессивной водой р. Вуокса являлся электрохимическим генератором ионов Fe^{2+} , Mn^{2+} и Zn^{2+} с конечной концентрацией у потребителя по железу до 3,6 мг/дм 3 , по марганцу – до 0,4 мг/дм 3 и по цинку – до 2,5 мг/дм 3 , в котором электрохимическая коррозия происходит в зонах многочисленных нарушений цинкового покрытия стали, а также пары железо – медь (латунь) в условиях хорошего заземления. [5]

Установлено, что окисления иона Fe²⁺ в трубопроводах не происходит, что говорит о расходовании всего кислорода, растворенного в воде, на реакцию окисления железа и цинка.

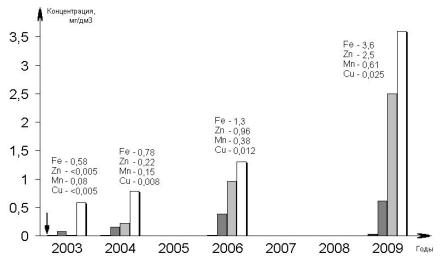


Рисунок 5. Динамика роста концентрации ионов в корродирующем трубопроводе. Стрелкой обозначен момент монтажа и запуска трубопроводов в эксплуатацию

Динамика роста концентрации ионов Fe^{2+} , Mn^{2+} и Zn^{2+} в воде трубопровода представлена на рис. 5. Стрелкой обозначен момент ввода трубопровода в эксплуатацию.

Видно, что наблюдается рост концентрации вышеназванных ионов (а в сезон 2009 года даже и меди Cu^{2^+}) с увеличением времени эксплуатации, что говорит об усилении скорости коррозии трубопровода. Эти концентрации уже значительно превышают ПДК (по железу в 12 раз, по марганцу в 6 раз, по цинку в 2,5 раза).

Последующая коагуляционная очистка от иона Fe²⁺ практически не дает результата, т.к. коагуляция Fe(OH)₂ происходит при pH более 9,5, что неприемлемо по гигиеническим соображениям, а сорбция его на

хлопьях $Al(OH)_3$ при более низких значениях pH незначительна. Практически полное удаление ионов Fe^{2+} , Mn^{2+} и Zn^{2+} из этой воды происходит на фильтре с природным цеолитом-клиноптилолитом в Na^+ – форме, в то время как активированный уголь не очищает воду от ионов Fe^{2+} и Zn^{2+} .

С другой стороны, исходная вода р. Вуокса (без прохождения через изучаемый трубопровод) содержит некоторое достаточно постоянное (0,51 – 0,69 мг/дм³ – за период 2004 – 2009 г.) количество железа (по июлю – июню) в двухвалентной форме в виде гуматов, устойчивых к окислению кислородом воздуха и очень медленно окисляющихся перманганатом калия, но хорошо поглощаемых активированным углем.

Двухвалентное железо в воде из трубопровода быстро окисляется перманганатом калия и не поглощается активированным углем, что свидетельствует об отсутствии гуматов железа (Fe^{2+}).

Таким образом, проведенные наблюдения и исследования показали следующее.

- 1. Воды р. Вуокса в летний период имеют нестабильные показатели качества (в особенности общей щелочности), что осложняет соблюдение точных и стабильных режимов их коагуляционной очистки, которая невозможна без искусственной коррекции щелочности путем использования второго дозатора, а также достаточно агрессивны, вызывая сильную коррозию трубопроводов.
- 2. Двухдозаторная схема позволяет использовать различные коагулянты, причем увеличение дозы защелачивающего компонента обеспечивает более надежное поддержание диапазона рН коагуляции, однако приводит к увеличению расхода коагулянта.
- 3. При поступлении в агрессивную воду р. Вуокса свежих продуктов коррозии стальных трубопроводов (ионов Fe^{2+} , Mn^{2+} и Zn^{2+}) их удаление более эффективно сорбционными методами, с применением природных цеолитов и активированных углей. Коагуляционная очистка вод в этом случае менее эффективна (особенно по иону Fe^{2+}).

Литература

- 1. Клячко В. А., Апельцин И. Э. Очистка природных вод М., 1971.
- 2. Хаммер М. Технология обработки природных и сточных вод М., 1979.
- 3. Алекссев Л. С., Гладков В. Л. Улучшение качества мягких вод М., 1994.
- 4. Таубе П. Р., Баранова А. Г. Химия и микробиология воды М., 1983.
- 5. Некрасов Б. В. Основы общей химии М., 1970, т. 3.

*Алексей Викторович Чечевичкин, Санкт-Петербург Тел. раб.: 535-99-39; эл. почта: filter-w@mail.ru

Численное моделирование влияния грунтового ядра на несущую способность трубосваи

К.т.н., доцент Г.Я. Булатов, магистр А.П. Ножнов*,

ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Фундамент является одной из основных составных частей здания, соответственно, к его проектированию необходимо подходить с особой тщательностью и осторожностью. Неправильно запроектированный фундамент может стать причиной серьезных негативных последствий (обрушения, аварий, сильных осадок как строящегося здания, так и окружающей застройки), перерасхода трудозатрат и энергозатрат, потери времени и финансов.

К сожалению, не всегда удается подобрать наиболее эффективный вариант как конструкции фундамента, так и самой сваи. Вызвано это различными причинами, в основном недостаточным количеством исследований темы в нашей стране, а также устаревшими и неполно отражающими все аспекты новых технологий нормативными документами.

Так, перспективные технологии возведения зданий и сооружений с применением стальных и трубчатых свай и сопутствующих технологий («свая в трубе» [2], «фундамент на трубогрунте» [3] и др.), недостаточно изучены, а вследствие этого до проектировщиков не доходят решения, которые в иной ситуации могли бы оказаться лучшими для конкретного объекта.

Само по себе использование труб относится к «щадящим» методам и оказывает минимальное воздействие на окружающую застройку, что очень актуально для Санкт-Петербурга, учитывая сложные инженерно-геологические условия и уплотнительную застройку.

В данной статье сделана попытка объединить имеющиеся в современной строительной науке данные об этой технологии и провести комплексный анализ с примерами расчетов стальных трубчатых свай. Одной из задач также была подготовка рекомендаций по выбору основных характеристик сваи.

Основной проблемой расчета является недостаток данных и сведений. А имеющиеся методики расчета сильно варьируются, как в постановке задачи, так и в пути ее решения. Так, например, основной нормативный документ [4], применяемый в России, не отражает в полной мере особенностей расчета СТС (здесь и далее: СТС – стальные трубчатые сваи) с открытым нижним концом, приравнивая их к обычным сваям с закрытым нижним концом. Нет отдельных рекомендаций по расчету СТС, не учтены такие явления, как «естественное самозапирание» (естественное самозапирание – процесс самозапирания сваи без ведения дополнительных искусственных операций, происходящий в результате естественных физико-механических процессов в ходе погружения сваи), влияние грунтового ядра на несущую способность сваи. Нормативный расчет имеет и ряд других недостатков (например, значения для R по табл.1 [4] начинаются только с глубины забивки 3 метра).

Сначала вкратце изложим методику расчета СТС, учитывающую влияние грунтового ядра.

Математическая модель влияния грунтового ядра на несущую способность трубчатой сваи по теории предельного равновесия

Расчётную схему для вычисления несущей способности трубчатой сваи представим в виде рис. 1.

Несущую способность трубчатой сваи запишем в виде:

$$F_{d}=F_{df}+F_{dR}+F_{d\mathcal{H}}+\Delta F_{d\mathcal{H}}$$
 , (1)

где выделим следующие составляющие:

 ${\cal F}_{df}$ – полное боковое сопротивление по наружной поверхности;

 F_{dR} — полное лобовое сопротивление по сечению стальной трубчатой сваи, т.е. ножевое (по площади нетто);

 $F_{d\!\mathcal{A}}$ – полное лобовое сопротивление грунтового ядра, заполняющего полость стальной трубчатой сваи при её забивке;

 $\Delta F_{d\mathcal{A}}$ — дополнительное лобовое сопротивление грунтового ядра, заполняющего полость сваи при ведении дополнительных мероприятий.

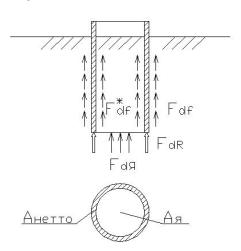


Рисунок 1.Расчётная схема для стальной трубчатой сваи

Первая составляющая [4]:

$$F_{df} = \gamma_c \cdot u \sum \gamma_{cf} \cdot h_i \cdot f_i$$
, (2)

где γ_c – коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый γ_c = 1;

и – наружный периметр поперечного сечения сваи;

 f_i – расчетное сопротивление i-го слоя грунта основания по боковой поверхности сваи;

 h_i – толщина i-го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи;

 γ_{cf} – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности сваи, учитывающий влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта.

Вторая составляющая [4]:

$$F_{dR} = \gamma_c \cdot \gamma_{cR} \cdot R \cdot A$$
, (3)

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи;

 А – площадь опирания стальной трубчатой сваи на грунт, принимаемое по площади поперечного сечения сваи нетто;

 γ_{cR} — коэффициент условий работы грунта под нижним концом сваи, учитывающий влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта.

Третью составляющую запишем в виде

$$F_{dg} = \gamma_c \cdot \gamma_{cg} \cdot R_g \cdot A_g$$
, (4)

где $\gamma_{cЯ}$ – коэффициент условий работы грунта под нижним концом сваи, учитывающий влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта [4];

 $R_{\rm H}$ – удельное лобовое сопротивление грунтового ядра;

 $A_{\rm H}$ – площадь сечения ядра.

Удельное сопротивление ядра представим в виде

$$R_g = \min\{R_R; R\}$$
, (5)

где R_B – удельное сопротивление проталкиванию грунтового ядра внутрь полости трубы.

Запишем

$$R_{\scriptscriptstyle B} = \max \left\{ q_{\scriptscriptstyle \mathcal{A}}; R^* \right\}$$
 при $R^* = rac{F_{df}^*}{A_{\scriptscriptstyle \mathcal{A}}}$ (6)

Здесь q_я – удельное сопротивление проталкиванию грунтового ядра с учётом эффекта его «самозапирания»;

 R^* – то же, за счет сил простого трения по внутренней поверхности сваи;

 F_{df}^* – полное сопротивление трению по внутренней поверхности трубосваи по [4].

Для учета явления «самозапирания» грунтового ядра можно использовать расчеты давления материалов в «силосе» (по Янсену) или методику, разработанную А.И. Прудентовым, или работу [1].

Например, из работы [1] имеем

$$q_{\scriptscriptstyle \mathcal{H}} = \frac{B}{A} \left[\exp(h_{\scriptscriptstyle \mathcal{H}} \cdot A) - 1 \right] \text{ при } \frac{B}{A} = \frac{2 \cdot c_0 + \gamma \cdot r_{\scriptscriptstyle \mathcal{H}}}{2 \cdot \xi \cdot tg \phi_0} \text{ и } A = \frac{2 \cdot \xi \cdot tg \phi_0}{r_{\scriptscriptstyle \mathcal{H}}}, (7)$$

где $h_{\mathcal{S}}$ – высота грунтового ядра в полости сваи;

 φ_0 и c_0 – угол трения и сцепление при сдвиге грунта по внутренней поверхности стальной трубосваи;

 γ – удельный вес грунта ядра;

 $r_{\rm F}$ – радиус поперечного сечения ядра;

 ξ – коэффициент бокового давления грунта (ξ =0,35...0,75 – от рыхлого песчаного к плотному влажному глинистому) [5].

Качественная картина изменения удельных лобовых сопротивлений грунтового ядра по глубине погружения h стальной трубосваи представлена на рис. 2.

Таблица 1. Значения коэффициентов трения песчаных грунтов по поверхности стали [5]

	oma omasia [o]
Вид грунта	Значение tgφ₀
Песок сухой (ф=35°)	0,5
- II — влажный (ф=30°)	0,4
- II — водонасыщенный (φ=30°)	0,3
Порошковые материалы	0,30,25

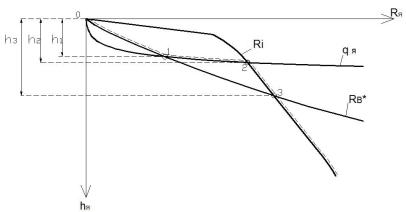


Рисунок 2. Возможные зависимости удельных лобовых сопротивлений грунтового ядра трубосваи от глубины её погружения h_я

Из рис. 2 видно, что при $h_9>h_3$ трубосвая может рассчитываться по схеме с закрытым нижним концом (при $R_9=R$), т.е. как квазимонолитная свая.

A при $h_{\rm H}$
- будет происходить проталкивание (продвижение) грунта внутрь полости стальной трубосваи и расчёт следует вести при $R_{\rm H}$ =R*. При этом предполагается, что высота грунтового ядра $h_{\rm H}$ =h.

В пределах $h_1 < h_3 < h_3$ можно уверенно вести расчет по условию $R_9 = R^*$ в предположении, что трение грунта по внутренней поверхности трубосваи не может быть менее, чем трение по ее внешней поверхности.

Однако в этом интервале возможно возникновение эффекта самозапирания грунта ядра в полости трубосваи, что ведет к существенному возрастанию сопротивления проталкиванию ядра (рис. 2). При этом для $h_1 < h_2 < h_3 < h_3 < h_4 < h_5 < h_6 < h_7 < h_8 <$

Также в своем исследовании при расчете прочности материала сваи будем использовать методику, изложенную в [3].

Пример расчета стальной трубчатой сваи ø1020x10мм

1. Исходные данные представлены в табл. 2.

Примем предел текучести материала сваи $\sigma_{\text{тек}}$ =2500 кгс/см 2

Примем Кдин=1.2

2. Данные по геологии представлены в табл. 3.

Таблица 2

Характеристика	Символ	Значение	Ед.изм
Диаметр сваи	D	1,02	М
Толщина стенки	δ	0,01	М
Радиус поперечного сечения ядра по стенке	rя	0,5	М
Площадь сечения ядра по стенке	Ая	0,785	M^2
Площадь сечения стали по стенке	А нетто ст	0,0317	M ²
Периметр сваи	u	3,20	М
Площадь сваи	Α	0,82	M ²

Таблица 3

Характеристики	ИГЭ
Наименование	песок средний
Состояние	текучая
IL	-
ξ	0,4
φο	30
C _o , T\M ²	-
у _{взв} , т\м ³	1
ус	1
ycf	1
ycR	1,2

3. Проведем расчет прочности материала сваи по методике, изложенной в [3]

Сразу зададимся целью определить условия, при которых свая будет работать наиболее эффективно: предположим, что напряжение в свае равно пределу текучести материала сваи (предполагая, что это предельное состояние, при котором материал еще находится в пределах подчинения закону Гука).

3.1. Из формул (2) и (3) [3] и условия, что ос=отек, определим:

$$F_d = \frac{2500 \times 317}{1,2} = 660420 \kappa c = 660,42 mc$$

3.2. По формулам (4), (5), (6) [3]:

$$R_{\scriptscriptstyle H} = \frac{2500 \times 1}{0,4 \times 50} = 125 \kappa c / c M^2 = 1250 mc / M^2$$

3.3. Проведем расчет сваи по (8) [4] и запишем результат в табличном виде (табл. 4).

Таблица 4. Определение несущей способности по СНиП [4]

№ расч.слоя	h _i , м	h _п ,м	h _{ср} ,м	R _i , TC/M ²	f _i , тс/м ²	f _i h _i , тс/м	$\sum f_i h_i$, тс/м	Fd _f , TC	Fd _{Rnet} , TC	Fd, TC
0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,00
1	1	1	0,5	104	1,75	1,75	1,75	5,6	4,0	9,56
2	1	2	1,5	200	3,85	3,85	5,60	17,9	7,6	25,5
3	1	3	2,5	310	4,5	4,5	10,1	32,3	11,8	44,1
4	1	4	3,5	320	5,05	5,05	15,2	48,5	12,2	60,7
5	1	5	4,5	338	5,45	5,45	20,6	65,9	12,8	78,8
6	1	6	5,5	355	5,7	5,7	26,3	84,2	13,5	97,7
7	1	7	6,5	368	5,9	5,9	32,2	103	14,0	117
8	1	8	7,5	380	6,1	6,1	38,3	123	14,5	137
9	1	9	8,5	390	6,28	6,28	44,6	143	14,8	157
10	1	10	9,5	400	6,43	6,43	51,0	163	15,2	178
11	1	11	10,5	408	6,57	6,57	57,6	184	15,5	200
12	1	12	11,5	416	6,71	6,71	64,3	206	15,8	222
13	1	13	12,5	424	6,85	6,85	71,1	228	16,1	244
14	1	14	13,5	432	6,99	6,99	78,1	250	16,4	266
15	1	15	14,5	440	7,13	7,13	85,3	273	16,7	290
16	1	16	15,5	448	7,27	7,27	92,5	296	17,0	313
17	1	17	16,5	456	7,41	7,41	99,9	320	17,3	337
18	1	18	17,5	464	7,55	7,55	107	344	17,7	362
19	1	19	18,5	472	7,69	7,69	115	369	18,0	386
20	1	20	19,5	480	7,83	7,83	123	394	18,3	412
21	1	21	20,5	488	7,97	7,97	131	419	18,6	438
22	1	22	21,5	496	8,11	8,11	139	445	18,9	464
23	1	23	22,5	504	8,25	8,25	147	471	19,2	491
24	1	24	23,5	512	8,39	8,39	156	498	19,5	518
25	1	25	24,5	520	8,53	8,53	164	526	19,8	545
26	1	26	25,5	528	8,67	8,67	173	553	20,1	573
27	1	27	26,5	536	8,81	8,81	182	582	20,4	602
28	1	28	27,5	544	8,95	8,95	191	610	20,7	631
29	1	29	28,5	552	9,09	9,09	200	639	21,0	660

Таким образом, длина сваи соответствующая несущей способности, полученной в п. 3.1, 29 метров.

- 4. Пример расчета, учитывая «естественное» самозапирание сваи.
 - 1) по формуле (2):

$$F_{df} = 1, 0.3, 2.1, 0(1, 75.1 + 1, 0.3, 85) = 17,9mc;$$

2) по формуле (3):

$$F_{dR} = 1.1, 2.200, 0.0, 0317 = 7,61mc$$
;

3) по формуле (7):

$$\frac{B}{A} = \frac{2 \cdot 0 + 1 \cdot 0.5}{2 \cdot 0.4 \cdot 0.3} = 2.08mc / M^{2}$$

$$A = \frac{2 \times 0.4 \times 0.3}{0.5} = 0.48 \frac{1}{M}$$

$$q_{g} = 2.08 \times \left[\exp(2.0 \times 0.48) - 1 \right] = 3.36mc / M^{2};$$

4) по формуле (6):

$$R_B^* = \frac{17.9}{0.785} = 22.8 mc / M^2;$$

5) по формуле (4):

$$F_{dg} = 1, 0.1, 0.22, 8.0, 785 = 17, 9mc$$
;

по формуле (1):

$$F_d = 17,9 + 7,61 + 17,9 = 43,4mc$$
.

Результаты расчетов запишем в табличном виде (табл. 5).

Таблица 5. Расчет несущей способности стальной трубчатой сваи 1020x10 мм (с учетом грунтового ядра)

№ расч. слоя	h _i , м	h _п , м	f _i , TC/M ²	fihi, тс/м	∑f _i h _i , TC/M	R _i ,	$R_B^*,$ TC/M^2	q _я , тс/м ²	R _я , тс/м ²	Fd _f ,	Fd _{Rnet} ,	Fd _s ,	Fd, тс
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1,75	1,75	1,75	104	7,1	1,28	7,1	5,6	3,96	5,6	15,2
2	1	2	3,85	3,85	5,60	200	22,8	3,36	22,8	17,9	7,61	17,9	43,4
3	1	3	4,50	4,50	10,1	310	41,2	6,71	41,2	32,3	11,8	32,3	76,4
4	1	4	5,05	5,05	15,2	320	61,8	12,1	61,8	48,5	12,2	48,5	109
5	1	5	5,45	5,45	20,6	338	84,0	20,9	84,0	65,9	12,8	65,9	145
6	1	6	5,70	5,70	26,3	355	107	35,0	107,2	84,2	13,5	84,2	182
7	1	7	5,90	5,90	32,2	368	131	57,9	131,3	103	14,0	103	220
8	1	8	6,10	6,10	38,3	380	156	94,8	156,1	123	14,5	123	260
9	1	9	6,28	6,28	44,6	390	182	155	181,7	143	14,8	143	300
10	1	10	6,43	6,43	51,0	400	208	251	251,1	163	15,2	197	376
11	1	11	6,57	6,57	57,6	408	235	407	407,0	184	15,5	320	519
12	1	12	6,71	6,71	64,3	416	262	659	416,0	206	15,8	327	548
13	1	13	6,85	6,85	71,1	424	290	1 066	424,0	228	16,1	333	577
14	1	14	6,99	6,99	78,1	432	318	1 725	432,0	250	16,4	339	606
15	1	15	7,13	7,13	85,3	440	348	2 788	440,0	273	16,7	345	635
16	1	16	7,27	7,27	92,5	448	377	4 508	448,0	296	17,0	352	665
17	1	17	7,41	7,41	99,9	456	407	7 286	456,0	320	17,3	358	695
18	1	18	7,55	7,55	107,5	464	438	11 776	464,0	344	17,7	364	726
19	1	19	7,69	7,69	115,2	472	469	19 032	472,0	369	18,0	371	757
	0,13	19,13	7,71	1,00	116,2	473	474	20 257	473,0	372	18,0	371	761

По результатам расчетов построим график зависимости лобовых сопротивлений в зависимости от глубины погружения сваи (рис. 3).

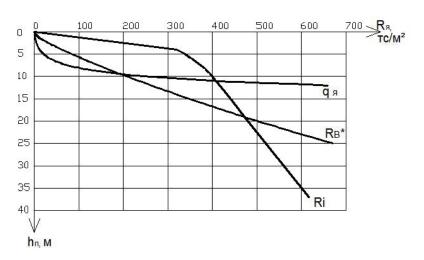


Рисунок 3. Зависимость удельных сопротивлений грунтового ядра R_{π} трубчатой сваи от глубины ее погружения h_{π}

- Вычислим толщину стенки трубосваи на характерных и промежуточных глубинах погружения из формул (2) и (3) [3] и условия, что σс=σтек (табл. 6).
- 7. Определим коэффициент эффективности использования материала сваи в зависимости от глубины ее погружения (табл. 7).

Таблица 6

	h _п , м	δ, мм
1	3	1,15
2	5	2,18
3	7	3,31
4	9,47	4,80
5	10	5,67
6	11	7,84
7	15	9,61
8	17	10,52
9	19,13	11,54

5. Результат.

- До 9,47 метров свая свободно прорезает грунт, лобовое сопротивление грунтового ядра на этом участке принимаем равным RB*.
- С 9,47 до 11 метров наблюдается эффект самозапирания, лобовое сопротивление грунтового ядра принимается равным q_я.
- С 11 до 19,13 метров свая начинает работать как свая с закрытым нижним концом, лобовое сопротивление грунтового ядра принимается равным R.

Принимаем длину сваи 20 метров.

Таблица 7

•								
	hπ, м	$K_{3\varphi\varphi}$						
1	3	890						
2	5	534						
3	7	382						
4	9,47	282						
5	10	267						
6	11	243						
7	15	178						
8	17	157						
9	19,13	140						

Под коэффициентом эффективности К_{эфф} будем понимать отношение несущей способности к весу сваи. То есть мы определим, какую нагрузку способна нести одна единица веса материала.

Примем:
$$K_{g,\phi} = \frac{F_d}{P_{ce}}$$
 (8)

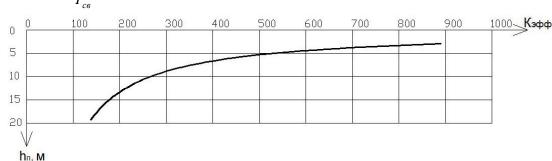


Рисунок 4. График зависимости коэффициента эффективности $K_{3 ф \phi}$ использования материала сваи от глубины ее погружения h_{Π}

8. Определим удельную несущую способность фундамента $q_{\text{крит}}$.

$$q_{\kappa pum}=rac{F_d}{A_{\phi y H \partial}}$$
 при $A_{\phi y H \partial}=a_s^2$ и $a_s=3 imes d_{c B}$, (9)

где $A_{\slash\hspace{-0.1cm}\rlap{/}}_{\slash\hspace{-0.1cm}\rlap{/}}$ - площадь фундамента соответствующая одной свае;

 $a_{_{\mathcal{S}}}$ – шаг свай;

 $d_{\it CB}$ – наружный диаметр сваи.

Таблица 8. Результаты расчета удельной несущей способности

	_					
	h _п , м	q _{крит} , тс/м ²				
1	3	8,16				
2	5	15,5				
3	7	23,5				
4	9,47	34,1				
5	10	40,2				
6	11	55,4				
7	15	67,8				
8	17	74,2				
9	19,13	81,3				

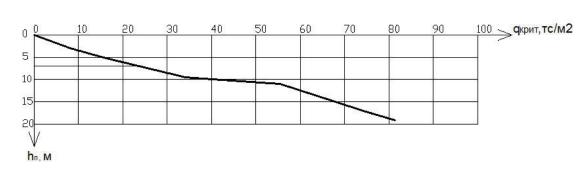


Рисунок 5. График зависимости $q_{\text{крит}}$ сваи от глубины ее погружения h_{n}

- 9. По результатам расчета видно:
 - наиболее эффективно по расходу материала свая работает при минимальных глубинах погружения, т.е. чем длиннее свая, тем меньше будет коэффициент использования материала сваи:
 - при расчете по СНиП [4] без учета самозапирания несущая способность сваи, в зависимости от глубины ее погружения, может заметно занижаться;
 - толщина стенки сваи остается относительно небольшой, даже при достаточно большой глубине погружения сваи.
- 10. Проведем расчеты еще для нескольких различных диаметров и толщин стенки для того же материала сваи и тех же инженерно-геологических характеристик и проанализируем полученные результаты.

Рассчитаем сваи диаметром:

- ø1420x17,5мм
- ø1820х18мм
- ø2420x24мм

Полученные результаты запишем в табличном виде (табл. 9).

Таблица 9. Результаты расчета для свай ø1420x17,5мм, ø1820x18мм, ø2420x24мм

	ø1420х17,5мм					ø1820х18мм						
Nº	hπ, м	F _d , TC	б, мм	Р _{св} , т	$K_{9\Phi\Phi}$	q _{крит} , тс/м ²	h _п , м	F _d ,Tc	δ, мм	Р _{св} , т	$K_{2\Phi\Phi}$	q _{крит} , тс/м ²
1	3	135	1,46	0,152	890	7,46	3	172	1,44	0,193	890	5,76
2	5	235	2,53	0,439	535	12,9	5	297	2,49	0,555	534	9,95
3	10	515	5,56	1,93	267	28,4	10	648	5,46	2,428	267	21,8
4	12,35	655	7,09	3,03	216	36,1	14,7	934	7,88	5,142	182	31,3
5	14,50	1 020	11,1	5,54	184	56,2	18	1 852	15,7	12,5	148	62,1
6	15	1 095	11,9	6,15	178	60,3	20	1 974	16,7	14,8	134	66,2
7	20	1 328	14,4	9,94	134	73,2	25	2 315	19,7	21,7	107	77,7
8	25	1 577	17,2	14,8	107	86,9	30	2 677	22,8	30,1	89	89,8
9	26,24	1 641	17,9	16,1	102	90,4	36,7	3 193	27,2	43,9	73	107
	ø2420x24мм											
1	3	246	1,55	0,28	890	4,67						
2	5	417	2,63	0,78	534	7,91						
3	10	897	5,67	3,36	267	17,0						
4	15	1430	9,03	8,03	178	27,1						
5	18,3	1811	11,4	12,4	146	34,4						
6	22,9	3462	21,9	29,7	117	65,7						
7	30	4200	26,5	47,2	89	79,7						
8	40	5333	33,7	79,9	67	101						
9	48,6	6393	40,4	116,3	55	121						

Построим графики и проанализируем полученные результаты.

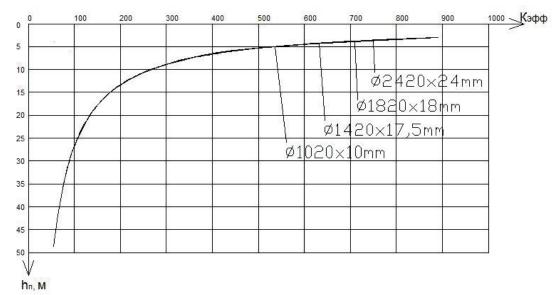


Рисунок 6. Сравнение графиков зависимостей коэффициентов эффективности К_{эфф} использования материала свай различного диаметра от глубины их погружения h_п

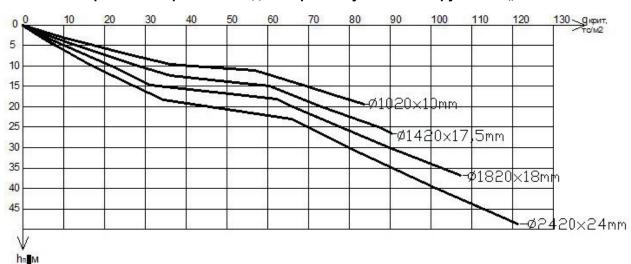


Рисунок 7. Сравнение графиков зависимостей qкрит свай различного диаметра от глубины их погружения $h_{\scriptscriptstyle \Pi}$

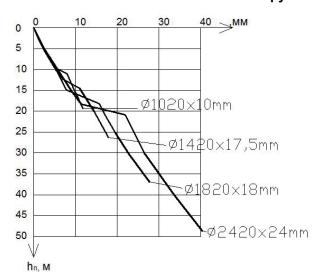


Рисунок 8. Сравнение графиков зависимости толщины стенки δ свай, различного диаметра от глубины их погружения h_n

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы.

Для одинакового материала сваи в одном и том же грунте, вне зависимости от диаметра и толщины стенки сваи, эффективность работы материала одинакова (небольшие расхождения пределах 0,5% можно отнести к неточности вычислений). Таким образом, имея под руками графики для различных грунтов и материалов сваи, можно быстро и достаточно точно определять необходимые характеристики И анализировать сваи поведение.

- Фундаменты на сваях меньшего диаметра имеют большую удельную несущую способность (см. рис.9.). Особенно характерно это в тот момент, когда свая меньшего диаметра переходит точку 1 или 2 (момент начала естественного самозапирания), а свая большего диаметра еще остается в диапазоне значений, предшествующих данной точке (1 или 2).
- Все характеристики, полученные в результате расчетов, меняются по одинаковым законам и меняют свою направленность при переходе от одной характерной точки к другой. Лишь для эффективности использования материала сваи не имеет значения переход от одних характерных точек к другим.

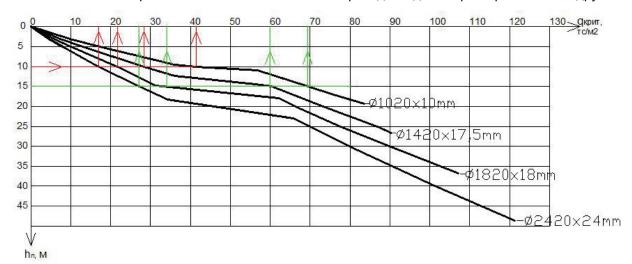


Рисунок 9. Анализ графиков зависимостей $q_{\kappa p \mu \tau}$ свай различного диаметра от глубины их погружения h_{π}

При проведении расчетов на одном диаметре 1420 мм и разных начальных толщинах стенки (10, 14, 17,5 мм), было выявлено, что значения численных и графических результатов практически одинаковы и различаются не больше чем на 2,5%. Таким образом, в первом приближении можно принять, что при одном и том же диаметре результат расчета не зависит от изначальной толщины стенки.

Выводы по статье можно сделать следующие.

- Грунтовое ядро значительно влияет на несущую способность сваи, и пренебрегать этим при расчетах СТС не стоит, так как в значительной степени занижается реальная несущая способность.
- При расчете эффективности использования материала сваи для одного материала и одного грунта не имеет значения ни начальная толщина стенки, ни диаметр сваи – зависимость и значения одинаковы. В будущем это можно использовать для упрощения расчетов свай.
- При одном и том же диаметре начальная толщина стенки либо не влияет на получаемые зависимости совсем, либо влияет в очень незначительной степени.
- Сваи большого диаметра уместно применять только в том случае, если необходимо получить повышенную несущую способность, и, как следствие, бить сваю очень глубоко. Наибольшую же эффективность как по расходу материалов, так и по удельной несущей способности дают сваи меньшего диаметра и при меньшей глубине забивки.

Получается, что строить на сваях при меньших диаметрах и глубинах забивки, но при большей концентрации на единицу площади намного эффективнее.

К этому можно добавить, что во Франции технологию возведения зданий и сооружений, на сваях малых диаметров и малой длины уже запатентовали и начали осваивать (к сожалению, данных в открытых источниках практически нет).

Литература

- 1. Булатов Г.Я., Словцов Д.И. К теории трубосвай // Технология, строительство и эксплуатация инженерных систем. Материалы межвузовской научной конференции. СПб., 2002. С. 34-35.
- 2. Булатов Г.Я., Костюкова А.Ю. Технология возведения фундаментов «свая в трубе // Инженерностроительный журнал, №1, 2008. Спб., 2008.
- 3. Булатов Г.Я., Костюкова А.Ю. Новая технология «фундамент на трубогрунте» // Инженерно-строительный журнал, №2, 2008. Спб., 2008.
- 4. СНиП 2.02.03.-85 «Свайные фундаменты». М., 1985.
- 5. Справочник проектировщика промышленных и гражданских зданий и сооружений: расчётно-теоретический / Под ред. А.А. Уманского. М., 1960.

* Антон Павлович Ножнов, Санкт-Петербург Тел. моб.: +7(921)402-05-14; эл. почта: life-is_good@mail.ru

Нелинейные уравнения равновесия ребристых оболочек с учетом различных свойств материала

К.т.н. В.М. Жгутов*,

ООО «Архитектурно-строительная компания «Китеж»

Известно, что в процессе деформирования оболочек в зависимости от уровня и длительности внешних воздействий могут проявиться различные свойства материала конструкции: упругость, пластичность, ползучесть и т.д. Проявление пластичности или ползучести приводит к необратимым последствиям. Для того чтобы конструкция являлась заведомо прочной и устойчивой, необходимо исключить возможность проявления этих свойств.

Вот почему актуальными и важными являются задачи разработки более совершенных моделей деформирования ребристых оболочек и соответствующих им алгоритмов исследования, а также анализа прочности и устойчивости ребристых оболочек при учете различных свойств материала.

В работе [1] автором фактически были получены уравнения равновесия упругих изотропных пологих оболочек [являющиеся с точки зрения известного принципа Германа-Эйлера-Даламбера составной частью уравнений динамики (движения) данных оболочек] при учете геометрической нелинейности, дискретного расположения ребер, их ширины, сдвиговой и крутильной жесткости, а также эффекта поперечных сдвигов и инерции вращения.

В настоящей работе выполнено обобщение, развитие и анализ предложенных автором математических моделей на случаи оболочек общего вида и при учете различных свойств материала при статических (как кратковременных, так и долговременных) нагрузках.

Рассматриваем оболочки общего вида с краем, подразумевая достаточно широкий класс оболочек наиболее распространенных частных видов: пологих на прямоугольном плане, вращения (например, цилиндрических, конических, сферических, торообразных), а также многих других (в том числе и составных) оболочек.

Срединную поверхность оболочки (точнее, ее обшивки) толщиной h принимаем за отсчетную координатную поверхность z=0. Координатные линии x и y ортогональной криволинейной системы координат ($-a \le x \le a$ и $-b \le y \le b$) направляем по линиям кривизны отсчетной поверхности (параллелям и меридианам в случае оболочек вращения), а ось z — по внутренней нормали поверхности z=0 так, чтобы система координат x,y,z была право-ориентированной.

Полагаем, что определенная таким образом сеть координатных линий на отсчетной поверхности не имеет особенностей.

С внутренней стороны оболочка подкреплена ребрами жесткости, расставленными вдоль координатных линий.

Ребра (или вырезы) задаем дискретно с помощью функции H = H(x, y), характеризующей распределение ребер (вырезов) по оболочке, их ширину и высоту [1,2,3].

Таким образом, толщина всей конструкции равна h+H и $-h/2 \le z \le h/2+H$. Если H>0, то оболочка подкреплена ребрами (или накладками), если же H<0, то она ослаблена вырезами.

Считаем, что оболочка находится под действием механической нагрузки при определенном закреплении ее края (контура).

Будем учитывать геометрическую нелинейность, дискретное расположение ребер, их ширину, сдвиговую и крутильную жесткости, поперечные сдвиги, а также возможные нелинейную упругость и ползучесть материала оболочки.

1. **Геометрические соотношения** в срединной поверхности z=0 получаются с помощью операции ковариантного (абсолютного) дифференцирования векторного поля *смещения* (поля *деформаций*) и с учетом геометрической нелинейности имеют вид

$$\varepsilon_{xx} = \frac{DU}{\partial x} + \frac{1}{2}\theta_{11}^2 = \frac{1}{A}\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{AB}\frac{\partial A}{\partial y}V - K_xW + \frac{1}{2}\theta_{11}^2;$$

$$\begin{split} \varepsilon_{yy} &= \frac{DV}{\partial y} + \frac{1}{2}\theta_{22}^2 = \frac{1}{B}\frac{\partial V}{\partial y} + \frac{1}{AB}\frac{\partial B}{\partial x}U - K_yW + \frac{1}{2}\theta_{22}^2; \text{ (1)} \\ \gamma_{xy} &= \frac{DV}{\partial x} + \frac{DU}{\partial y} = \frac{1}{A}\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{B}\frac{\partial U}{\partial y} - \frac{1}{AB}\left(\frac{\partial A}{\partial y}U + \frac{\partial B}{\partial x}V\right) + \theta_{12}^2. \end{split}$$

Здесь \mathcal{E}_{xx} , \mathcal{E}_{yy} и γ_{xy} – компоненты тензора деформаций: деформации растяжения (сжатия) вдоль координатных линий x,y и, соответственно, сдвига в касательной плоскости (dx,dy);

U = U(x,y), V = V(x,y) и W = W(x,y) – компоненты вектора смещения (вектора деформаций) точек вдоль координатных линий x,y и z соответственно;

A = A(x,y) и B = (x,y) – метрические коэффициенты Ламе, зависящие от вида оболочки (например, A = B = 1 для пологой оболочки и A = const, B = B(x) в случае оболочки вращения);

 $K_x = K_x(x,y) = 1/R_1$ и $K_y = K_y = 1/R_2$ – главные кривизны ($R_1 = R_1(x,y)$ и $R_2 = R_2(x,y)$ – главные радиусы кривизны) оболочки вдоль линий x и y соответственно;

$$\theta_{11}^{2} = \left(\frac{DU}{\partial x}\right)^{2} + \left(\frac{DV}{\partial x}\right)^{2} + \left(\frac{DW}{\partial x}\right)^{2}; \quad \theta_{22}^{2} = \left(\frac{DU}{\partial y}\right)^{2} + \left(\frac{DV}{\partial y}\right)^{2} + \left(\frac{DW}{\partial y}\right)^{2};$$

$$\theta_{12}^{2} = \frac{DU}{\partial x} \cdot \frac{DU}{\partial y} + \frac{DV}{\partial x} \cdot \frac{DV}{\partial y} + \frac{DW}{\partial x} \cdot \frac{DW}{\partial y},$$

где $\frac{D}{\partial x}$ и $\frac{D}{\partial y}$ — операторы ковариантного дифференцирования по криволинейным координатам x и y [DU,DV и DW — абсолютные (геометрические) дифференциалы смещений U,V и W].

Примечание 1. Известно, что в некоторой системе ортогональных криволинейных координат $x_{\alpha}, 1 \leq \alpha \leq 3$ оператор $\frac{D}{\partial x_{\alpha}}$ ковариантного дифференцирования произвольного *скалярного поля* $a=a(x_1,x_2,x_3)$, векторного поля $a_i=a_i(x_1,x_2,x_3)$, $1 \leq i \leq 3$ и тензорного поля $a_{ik}=a_{ik}$ (x_1,x_2,x_3), $1 \leq i,k \leq 3$ действует по следующим правилам [13]:

$$a \mapsto \frac{Da}{\partial x_{\alpha}} = \frac{1}{h_{\alpha}} \cdot \frac{\partial a}{\partial x_{\alpha}}, \ a_{i} \mapsto \frac{Da_{i}}{\partial x_{\alpha}} = \frac{1}{h_{\alpha}} \cdot \frac{\partial a_{i}}{\partial x_{\alpha}} - \sum_{k=1}^{3} a_{k} \Gamma_{ik\alpha}$$

и, соответственно, $a_{_{ik}}\mapsto \frac{Da_{ik}}{\partial x_{_{\alpha}}}=\frac{1}{h_{_{\alpha}}}\cdot \frac{\partial a_{ik}}{\partial x_{_{\alpha}}}-\sum_{l=1}^{3}(a_{lk}\Gamma_{il\alpha}+a_{il}\Gamma_{kl\alpha})$,

где $h_{\!_{lpha}}$ – метрические коэффициенты Ламе; $\Gamma_{iklpha}=\Gamma_{iklpha}(x_1,x_2,x_3)$ – символы Кристоффеля.

Известно также [13], что символы Кристоффеля симметричны по крайним индексам при $k\neq i, k\neq \alpha$ ($\Gamma_{ik\alpha}=\Gamma_{\alpha ki}$) и антисимметричны по первым двум индексам ($\Gamma_{ik\alpha}=-\Gamma_{ki\alpha}$), а потому величины $\Gamma_{ik\alpha}$ с разными значениями индексов равны нулю ($\Gamma_{ik\alpha}=0$ при $i\neq k, i\neq \alpha, k\neq \alpha$). Это значит, что в ортогональной криволинейной системе координат из 27 величин $\Gamma_{ik\alpha}$ ненулевыми могут быть не более 12: $\Gamma_{ikk}=-\Gamma_{kik}$. При этом $\Gamma_{ikk}=-\Gamma_{kik}=\frac{1}{h}\frac{\partial h_k}{\partial x_i}=\frac{1}{h}\frac{\partial \ln h_k}{\partial x_i}$.

Поясним, что в нашем случае и в наших обозначениях $x_1=x, x_2=y, x_3=z$ и $h_1=A, h_2=B, h_3=1$, а те 12 из 27 величин $\Gamma_{ik\alpha}$, которые в ортогональной криволинейной системе координат могут быть отличными от нуля, имеют вид

$$\begin{split} \Gamma_{122} &= -\Gamma_{212} = \frac{1}{AB} \cdot \frac{\partial B}{\partial x} \, ; \, \Gamma_{133} = -\Gamma_{313} = 0 \, ; \, \Gamma_{211} = -\Gamma_{121} = \frac{1}{AB} \cdot \frac{\partial A}{\partial y} \, ; \, \Gamma_{233} = -\Gamma_{323} = 0 \, ; \\ \Gamma_{311} &= -\Gamma_{131} = \frac{1}{A} \cdot \frac{\partial A}{\partial z} = -K_x \, ; \, \Gamma_{322} = -\Gamma_{232} = \frac{1}{B} \cdot \frac{\partial B}{\partial z} = -K_y \, . \end{split}$$

В соотношениях (1) квадратичные члены характеризуют геометрическую нелинейность, которую необходимо учитывать в случаях достаточно больших смещений (деформаций), иными словами, в случаях, когда квадратом длины вектора смещений нельзя пренебречь в сравнении с его длиной.

Как правило, в процессе деформирования оболочек продольные смещения U и V на порядок превосходят поперечные смещения (прогибы)W. Очевидно, что в этом случае вместе с U и V малы и соответствующие их производные по координатам x и y. Тогда в каждом из общих выражений для величин $\theta_{11}^2, \theta_{11}^2$ и θ_{12}^2 можно пренебречь двумя первыми членами как малыми величинами второго порядка. Следовательно, можно положить

$$\begin{split} \theta_{11}^2 \approx & \left(\frac{DW}{\partial x}\right)^2 = \theta_1 \,; \; \theta_{22}^2 \approx \left(\frac{DW}{\partial y}\right)^2 = \theta_2 \,; \; \theta_{12}^2 \approx \frac{DW}{\partial x} \cdot \frac{DW}{\partial y} = \theta_1 \cdot \theta_2 \,, \end{split}$$
 где
$$\theta_1 = -\frac{DW}{\partial x} = -\left(\frac{1}{A}\frac{\partial W}{\partial x} + K_x U\right); \;\; \theta_2 = -\frac{DW}{\partial y} = -\left(\frac{1}{B}\frac{\partial W}{\partial y} + K_y V\right). \end{split}$$

Деформации поперечных сдвигов определяем по формулам

$$\gamma_{xz} = c f(z) (\psi_x - \theta_1); \ \gamma_{yz} = c f(z) (\psi_y - \theta_2), (2)$$

где φ_x и φ_y – углы поворота отрезка нормали в плоскостях (dx, dz) и (dy, dz) соответственно;

f(z) – функция, характеризующая распределение напряжений τ_{xz} и τ_{yz} вдоль оси z [1,3]; c – константа.

Смещения и деформации в координатной поверхности $z \neq 0$ вычисляем по формулам [1,3]

$$\begin{split} U^z &= U + z \psi_x, \ V^z = V + z \psi_y, \ W^z = W \ ; \\ \varepsilon^z_{xx} &= \varepsilon_{xx} + z \chi_1, \ \varepsilon^z_{yy} = \varepsilon_{yy} + z \chi_2, \ \gamma^z_{xy} = \gamma_{xy} + 2z \chi_{12}, \end{split}$$

где

$$\chi_{1} = \frac{D\psi_{x}}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial \psi_{x}}{\partial x} + \frac{1}{AB} \frac{\partial A}{\partial y} \psi_{y}; \quad \chi_{2} = \frac{D\psi_{y}}{\partial y} = \frac{1}{B} \frac{\partial \psi_{y}}{\partial y} + \frac{1}{AB} \frac{\partial B}{\partial x} \psi_{x};$$
$$2\chi_{12} = \frac{D\psi_{y}}{\partial x} + \frac{D\psi_{x}}{\partial y} = \frac{1}{A} \frac{\partial \psi_{y}}{\partial x} + \frac{1}{B} \frac{\partial \psi_{x}}{\partial y} - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial A}{\partial y} \psi_{x} + \frac{\partial B}{\partial x} \psi_{y} \right)$$

суть функции изменения кривизны и кручения.

2. Физические соотношения в произвольной точке оболочки, выполненной из линейно упругого ортомропного материала, в соответствии с обобщенным законом Гука имеют вид [4]:

$$\begin{split} \sigma_{xx} &= G_{11}[\varepsilon_{xx} + \mu_{2}\varepsilon_{yy} + z(\chi_{1} + \mu_{2}\chi_{2})], \ \sigma_{yy} = G_{22}[\varepsilon_{yy} + \mu_{1}\varepsilon_{xx} + z(\chi_{2} + \mu_{1}\chi_{1})]; \tau_{xy} = G_{12}[\gamma_{xy} + 2z\chi_{12}] \ \ (3) \\ \tau_{xz} &= G_{13}\gamma_{xz} = G_{13}kf(z)(\psi_{x} - \theta_{1}); \ \tau_{yz} = G_{23}\gamma_{yz} = G_{23}kf(z)(\psi_{y} - \theta_{2}), \end{split}$$

где E_1, E_2 и μ_1, μ_2 – продольные модули упругости и коэффициенты Пуассона данного материала, причем

$$E_1\mu_2 = E_2\mu_{1,1}; \ G_{11} = \frac{E_1}{1 - \mu_1\mu_2}, \ G_{22} = \frac{E_2}{1 - \mu_1\mu_2};$$

 G_{12} , G_{13} и G_{23} – модули сдвига соответственно в плоскостях симметрии (dx,dy), (dx,dz) и (dy,dz) материала оболочки.

В случае *изотропного* линейно упругого материала физические соотношения являются частным случаем соотношений (3) при $E_1=E_2=E$ и $\mu_1=\mu_2=\mu$,

а также
$$G_{11}=\frac{E}{1-\mu^2}$$
 , $G_{22}=\frac{E}{1-\mu^2}$ и G_{12} = G_{13} = G_{23} = $G=\frac{E}{2(1+\mu)}$.

Интегрируя компоненты тензора напряжений (3) по переменной $z (-h/2 \le z \le h/2 + H)$, получаем погонные усилия, моменты и поперечные силы, приведенные к отсчетной поверхности [4]:

$$N_{xx} = G_{11}[(h + \overline{F})(\varepsilon_{xx} + \mu_2 \varepsilon_{yy}) + \overline{S}(\chi_1 + \mu_2 \chi_2)], \ N_{yy} = G_{22}[(h + \overline{F})(\varepsilon_{yy} + \mu_1 \varepsilon_{xx}) + \overline{S}(\chi_2 + \mu_1 \chi_1)],$$

Жгутов В.М. Нелинейные уравнения равновесия ребристых оболочек с учетом различных свойств материала

$$N_{xy} = G_{12}[(h + \overline{F})\gamma_{xy} + 2\overline{S}\chi_{12}];$$

$$M_{xx} = G_{11}\left[\overline{S}(\varepsilon_{xx} + \mu_{2}\varepsilon_{yy}) + \left(\frac{h^{3}}{12} + \overline{J}\right)(\chi_{1} + \mu_{2}\chi_{2})\right], M_{yy} = G_{22}\left[\overline{S}(\varepsilon_{yy} + \mu_{1}\varepsilon_{xx}) + \left(\frac{h^{3}}{12} + \overline{J}\right)(\chi_{2} + \mu_{1}\chi_{1})\right],$$

$$M_{xy} = G_{12}\left[\overline{S}\gamma_{xy} + 2\left(\frac{h^{3}}{12} + \overline{J}\right)\chi_{12}\right];$$

$$Q_{xz} = kG_{13}(h + \overline{F})(\psi_{x} - \theta_{1}), Q_{yy} = kG_{23}(h + \overline{F})(\psi_{y} - \theta_{2}).$$
(4)

Здесь $\overline{F}, \ \overline{S}, \ \overline{J}$ – площадь поперечного (продольного) сечения ребра, приходящаяся на единицу длины сечения, статический момент и момент инерции данного сечения соответственно:

$$\overline{F} = \int_{h/2}^{h/2+H} dz$$
, $\overline{S} = \int_{h/2}^{h/2+H} z dz$, $\overline{J} = \int_{h/2}^{h/2+H} z^2 dz$.

Физические соотношения для ортотропных материалов при учете *ползучести* материала в соответствии с теориями *упругоползучего тела* могут быть представлены в виде [5]

$$\sigma_{xx} = \sigma_{xx}^{e} - \sigma_{xx}^{c}, \ \sigma_{yy} = \sigma_{yy}^{e} - \sigma_{yy}^{c}, \ \tau_{xy} = \tau_{xy}^{e} - \tau_{xy}^{c},$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xz}^{e} - \tau_{xz}^{c}, \ \tau_{yz} = \tau_{zy}^{e} - \tau_{zy}^{c},$$

где упругомгновенные (в частности, упругие) составляющие компонент тензора напряжений (отмечены индексом «e»), определяются с помощью формул

$$\begin{split} \sigma_{xx}^{\rm e} &= G_{11}(\varepsilon_{xx}^z + \mu_2 \varepsilon_{yy}^z) \,, \; \sigma_{yy}^{\rm e} = G_2(\varepsilon_{yy}^z + \mu_1 \varepsilon_{xx}^z) \,, \; \tau_{xy}^{\rm e} = G_{12} \gamma_{xy}^z \,; \\ \tau_{xz}^{\rm e} &= G_{13} \gamma_{xz} \,, \; \tau_{yz}^{\rm e} = G_{23} \gamma_{yz} \,, \; \text{(5)} \end{split}$$

а составляющие компонент тензора напряжений, обусловленные ползучестью материала (отмечены индексом «с»), вычисляются с помощью соотношений

$$\sigma_{xx}^{c} = \int_{t_{0}}^{t} G_{11} \left(\varepsilon_{xx}^{z} + \mu_{2} \varepsilon_{yy}^{z} \right) R_{1}(t, \tau) d\tau, \quad \sigma_{yy}^{c} = \int_{t_{0}}^{t} G_{22} \left(\varepsilon_{yy}^{z} + \mu_{1} \varepsilon_{xx}^{z} \right) R_{1}(t, \tau) d\tau, \quad \tau_{xy}^{c} = \int_{t_{0}}^{t} G_{12} \gamma_{xy}^{z} R_{2}(t, \tau) d\tau;$$

$$\tau_{xz}^{c} = \int_{t_{0}}^{t} G_{13} \gamma_{xz} R_{2}(t, \tau) d\tau, \quad \tau_{yz}^{c} = \int_{t_{0}}^{t} G_{23} \gamma_{yz} R_{2}(t, \tau) d\tau. \quad (6)$$

Здесь $R_1(t,\tau)$ и $R_2(t,\tau)$ — функции влияния материала при растяжении (сжатии) и сдвиге, где t — время, τ — переменная интегрирования (имеет смысл времени);

$$G_{11}=rac{E_1}{1-\mu_1\mu_2}$$
 , $G_{22}=rac{E_2}{1-\mu_1\mu_2}$, G_{12} , G_{13} и G_{23} – модули сдвига [константы либо переменные

коэффициенты (функции t) в общем случае], где E_1 , E_2 и μ_1 , μ_2 – продольные модули упругости и коэффициенты Пуассона (переменные либо константы).

Для изотропных материалов физические соотношения являются частным случаем соотношений (5) и (6)

при
$$E_1=E_2=E$$
 и $\mu_1=\mu_2=\mu$, а также $G_{11}=\frac{E}{1-\mu^2}$, $G_{22}=\frac{E}{1-\mu^2}$ и $G_{12}=G_{13}=G_{23}=G=\frac{E}{2(1+\mu)}$. [6,7].

Интегрируя напряжения (5) и (6) по переменной $z (-h/2 \le z \le h/2 + H)$, получим выражения для погонных усилий, моментов и поперечных сил (приведенных к отсчетной поверхности) в следующем виде [5]:

$$\begin{split} N_{xx} &= N_{xx}^{\rm e} - N_{xx}^{\rm c} \,, \; N_{yy} = N_{yy}^{\rm e} - N_{yy}^{\rm c} \,, \; N_{xy} = N_{xy}^{\rm e} - N_{xy}^{\rm c} \,; \; M_x = M_x^{\rm e} - M_x^{\rm c} \,, \; M_y = M_y^{\rm e} - M_y^{\rm c} \,, \\ M_{xy} &= M_{xy}^{\rm e} - M_{xy}^{\rm c} \,; \; Q_{xz} = Q_{xz}^{\rm e} - Q_{xz}^{\rm c} \,, \; Q_{yz} = Q_{yz}^{\rm e} - Q_{yz}^{\rm c} \,, \; (7) \end{split}$$

где упругомгновенные (в частности, упругие) составляющие (с индексом «e») внутренних силовых факторов вычисляются по формулам

$$N_{xx}^{e}(t) = G_{11}[(h + \overline{F})(\varepsilon_{xx} + \mu_{2}\varepsilon_{yy}) + \overline{S}(\chi_{1} + \mu_{2}\chi_{2})];$$

$$N_{yy}^{e}(t) = G_{22}[(h + \overline{F})(\varepsilon_{yy} + \mu_{1}\varepsilon_{xx}) + \overline{S}(\chi_{2} + \mu_{1}\chi_{1})];$$

$$\begin{split} N_{xy}^{e}(t) &= G_{12} \Big[(h + \overline{F}) \gamma_{xy} + 2 \overline{S} \chi_{12} \Big]. \\ M_{xx}^{e}(t) &= G_{11} \Big[\overline{S} (\varepsilon_{xx} + \mu_{2} \varepsilon_{yy}) + \left(\frac{h^{3}}{12} + \overline{J} \right) (\chi_{1} + \mu_{2} \chi_{2}) \Big]; \\ M_{yy}^{e}(t) &= G_{22} \Big[\overline{S} (\varepsilon_{yy} + \mu_{1} \varepsilon_{xx}) + \left(\frac{h^{3}}{12} + \overline{J} \right) (\chi_{2} + \mu_{1} \chi_{1}) \Big]; \\ M_{xy}^{e}(t) &= G_{12} \Big[\overline{S} \gamma_{xy} + 2 \left(\frac{h^{3}}{12} + \overline{J} \right) \chi_{12} \Big]; \\ Q_{xz}^{e}(t) &= k G_{13} (h + \overline{F}) (\psi_{x} - \theta_{1}); \ Q_{yz}^{e}(t) &= k G_{23} (h + \overline{F}) (\psi_{y} - \theta_{2}), \end{split}$$

а составляющие внутренних силовых факторов, обусловленные ползучестью материала (с индексом «с»), определяются с помощью выражений

$$\begin{split} N_{xx}^{c} &= \int_{t_{0}}^{t} N_{xx}^{e}(\tau) R_{1}(t,\tau) d\tau \; ; \; N_{yy}^{c} = \int_{t_{0}}^{t} N_{yy}^{e}(\tau) R_{1}(t,\tau) d\tau \; ; \\ N_{xy}^{c} &= \int_{t_{0}}^{t} N_{xy}^{e}(\tau) R_{2}(t,\tau) d\tau \; ; \; M_{xx}^{c} = \int_{t_{0}}^{t} M_{xx}^{e}(\tau) R_{1}(t,\tau) d\tau \; ; \\ M_{yy}^{c} &= \int_{t_{0}}^{t} M_{yy}^{e}(\tau) R_{1}(t,\tau) d\tau \; ; \; M_{xy}^{c} = \int_{t_{0}}^{t} M_{xy}^{e}(\tau) R_{2}(t,\tau) d\tau \; ; \\ Q_{xx}^{c}(t) &= \int_{t_{0}}^{t} Q_{xx}^{e}(\tau) R_{2}(t,\tau) d\tau \; ; \; Q_{yy}^{c} = \int_{t_{0}}^{t} Q_{yy}^{e}(\tau) R_{2}(t,\tau) d\tau \; . \end{split}$$

Примечание 2. При решении задач ползучести интегралы по переменной au разбиваем на сумму интегралов по частичным отрезкам [t_{i-1},t] заданной длины $\Delta t=t_i-t_{i-1}$ каждый. Указанные интегралы вычисляем приближенно по формуле прямоугольников [6,7].

В соответствии с деформационной теорией пластичности физические соотношения для нелинейноупругого изотропного материала имеют вид [8–12]

$$\begin{split} \boldsymbol{\sigma}_{xx} &= \boldsymbol{\sigma}_{xx}^{\mathrm{e}} - \boldsymbol{\sigma}_{xx}^{\mathrm{p}}, \; \boldsymbol{\sigma}_{yy} = \boldsymbol{\sigma}_{yy}^{\mathrm{e}} - \boldsymbol{\sigma}_{yy}^{\mathrm{p}}, \; \boldsymbol{\tau}_{xy} = \boldsymbol{\tau}_{xy}^{\mathrm{e}} - \boldsymbol{\tau}_{xy}^{\mathrm{p}}, \\ \boldsymbol{\tau}_{xz} &= \boldsymbol{\tau}_{xz}^{\mathrm{e}} - \boldsymbol{\tau}_{xz}^{\mathrm{p}}, \; \boldsymbol{\tau}_{yz} = \boldsymbol{\tau}_{yz}^{\mathrm{e}} - \boldsymbol{\tau}_{yz}^{\mathrm{p}}, \end{split}$$

где линейно упругие составляющие тензора напряжений (отмечены индексом «e») определяются с помощью известных формул

$$\begin{split} &\sigma_{xx}^{\rm e} = G_{11}(\varepsilon_{xx}^z + \mu \varepsilon_{yy}^z), \ \sigma_{yy}^{\rm e} = G_{22}(\varepsilon_{yy}^z + \mu \varepsilon_{xx}^z); \\ &\tau_{xy}^{\rm e} = G_{12}\gamma_{xy}^z, \ \tau_{xz}^{\rm e} = G_{13}\gamma_{xz}, \ \tau_{yz}^{\rm e} = G_{23}\gamma_{yz}, \ (8) \end{split}$$

являющихся частным случаем соотношений (3) при $G_{11}=G_{22}=\frac{E}{1-\mu^2}$ и $G_{12}=G_{13}=G_{23}=\frac{E}{2(1-\mu)}$, а

нелинейно-упругие (упругопластические) составляющие тензора напряжений (отмечены индексом (p)) вычисляются с помощью соотношений

$$\begin{split} \sigma_{xx}^{\mathrm{p}} &= G_{11}\omega(\varepsilon_{i})(\varepsilon_{xx}^{z} + \mu\varepsilon_{yy}^{z}), \ \sigma_{yy}^{\mathrm{p}} = G_{22}\omega(\varepsilon_{i})(\varepsilon_{yy}^{z} + \mu\varepsilon_{xx}^{z}); \\ \tau_{xy}^{\mathrm{p}} &= G_{12}\omega(\varepsilon_{i})\gamma_{xy}^{z}, \ \tau_{xz}^{\mathrm{p}} = G_{13}\omega(\varepsilon_{i})\gamma_{xz}, \ \tau_{yz}^{\mathrm{p}} = G_{23}\omega(\varepsilon_{i})\gamma_{yz}, \end{split}$$
(9)

где $\omega(\varepsilon_i)$ – безразмерная функция деформации (функция А.А. Ильюшина);

$$\varepsilon_{i} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{(\varepsilon_{x}^{z})^{2} + \varepsilon_{x}^{z} \varepsilon_{y}^{z} + (\varepsilon_{y}^{z})^{2} + \frac{1}{4} [(\gamma_{xy}^{z})^{2} + \gamma_{xz}^{2} + \gamma_{yz}^{2}]} - \text{интенсивность деформации [5]}.$$

Интегрируя напряжения (8) и (9) по переменной $z (-h/2 \le z \le h/2 + H)$, получим выражения для погонных усилий, моментов и поперечных сил (приведенных к отсчетной поверхности) в следующем виде [8-11]:

$$\begin{split} N_{xx} &= N_{xx}^{\rm e} - N_{xx}^{\rm p} \,, \ N_{yy} = N_{yy}^{\rm e} - N_{yy}^{\rm p} \,, \ N_{xy} = N_{xy}^{\rm e} - N_{xy}^{\rm p} \,, \\ M_{xx} &= M_{xx}^{\rm e} - M_{xx}^{\rm p} \,, \ M_{yy} = M_{yy}^{\rm e} - M_{yy}^{\rm p} \,, \ M_{xy} = M_{xy}^{\rm e} - M_{xy}^{\rm p} \,. \end{split}$$

$$Q_{xz} = Q_{xz}^{\rm e} - Q_{xz}^{\rm p}$$
 , $Q_{yz} = Q_{yz}^{\rm e} - Q_{yz}^{\rm p}$, (10)

где линейно упругие составляющие (с индексом «е») вычисляются по формулам

$$N_{xx}^{e} = G_{11}[(h + \overline{F})(\varepsilon_{xx} + \mu\varepsilon_{yy}) + \overline{S}(\chi_{1} + \mu\chi_{2})];$$

$$N_{yy}^{e} = G_{22}[(h + \overline{F})(\varepsilon_{yy} + \mu\varepsilon_{xx}) + \overline{S}(\chi_{2} + \mu\chi_{1})];$$

$$N_{xy}^{e} = G_{12}[(h + \overline{F})\gamma_{xy} + 2\overline{S}\chi_{12}];$$

$$M_{xx}^{e} = G_{11}\left[\overline{S}(\varepsilon_{xx} + \mu\varepsilon_{yy}) + \left(\frac{h^{3}}{12} + \overline{J}\right)(\chi_{1} + \mu\chi_{2})\right]; (11)$$

$$M_{yy}^{e} = G_{22}\left[\overline{S}(\varepsilon_{yy} + \mu\varepsilon_{xx}) + \left(\frac{h^{3}}{12} + \overline{J}\right)(\chi_{2} + \mu\chi_{1})\right];$$

$$M_{xy}^{e} = G_{12}\left[\overline{S}\gamma_{xy} + 2\left(\frac{h^{3}}{12} + \overline{J}\right)\chi_{12}\right],$$

$$Q_{xz}^{e} = kG_{13}(h + \overline{F})(\psi_{x} - \theta_{1}); Q_{yz}^{e} = kG_{23}(h + \overline{F})(\psi_{y} - \theta_{2});$$

а нелинейно-упругие (упругопластические) составляющие (с индексом «р») внутренних силовых факторов определяются с помощью выражений

$$\begin{split} N_{xx}^{p} &= G_{11}[I_{1}(\varepsilon_{xx} + \mu\varepsilon_{yy}) + I_{2}(\chi_{1} + \mu\chi_{2})]; \\ N_{yy}^{p} &= G_{22}[I_{1}(\varepsilon_{yy} + \mu\varepsilon_{xx}) + I_{2}(\chi_{2} + \mu\chi_{1})]; \\ N_{xy}^{p} &= G_{12}(I_{1}\gamma_{xy} + 2I_{2}\chi_{12}); \\ M_{xx}^{p} &= G_{11}[I_{2}(\varepsilon_{xx} + \mu\varepsilon_{yy}) + I_{3}(\chi_{1} + \mu\chi_{2})]; (12) \\ M_{yy}^{p} &= G_{22}[I_{2}(\varepsilon_{yy} + \mu\varepsilon_{xx}) + I_{3}(\chi_{2} + \mu\chi_{1})]; \\ M_{xy}^{p} &= G_{12}(I_{2}\gamma_{xy} + 2I_{3}\chi_{12}); \\ Q_{xz}^{p} &= G_{13}kI_{4}(\psi_{x} - \theta_{1}); \ Q_{yz}^{p} &= G_{23}kI_{4}(\psi_{y} - \theta_{2}). \end{split}$$

3. В соответствии с фундаментальным принципом минимума потенциальной энергии (принципом Лагранжа) из всех кинематически возможных смещений упругой системы в действительности реализуются лишь те, которые доставляют стационарное значение величине (полной энергии) [1]

$$\mathcal{J}=\Pi-A^E$$
 , (11)

где Π – потенциальная энергия системы;

 A^E – работа внешних сил.

Математически принцип Лагранжа в нашем случае выражается в виде вариационного уравнения

$$\delta \Theta = \delta \Pi - \delta A^E$$
, (12)

где δ – символ вариации.

Здесь
$$\Pi = \frac{1}{2} \iiint_{\Omega} \left[\sigma_{xx} \varepsilon_{xx}^z + \sigma_{yy} \varepsilon_{yy}^z + \tau_{xy} \gamma_{xy}^z + \tau_{xz} \gamma_{xz} + \tau_{yz} \gamma_{yz} \right] d\Omega$$
, (13)

$$A^{E} = \frac{1}{2} \iint_{S} (P_{x}U + P_{y}V + qW)dS$$
, (14)

где P_{x} , P_{y} и q – компоненты внешней механической нагрузки в направлении координатных линий x,y и z;

 Ω – область в пространстве (x, y, z);

S – область в плоскости (x, y);

 $d\Omega$ и dS – дифференциалы объема и отсчетной поверхности данной оболочки соответственно ($d\Omega = ABdxdydz$; dS = ABdxdy).

Проинтегрировав по z ($-h/2 \le z \le h/2 + H$) выражение (13), получим:

$$\Pi = \frac{1}{2} \iint_{S} \left[N_{xx} \varepsilon_{xx} + N_{yy} \varepsilon_{yy} + N_{xy} \gamma_{xy} + M_{xx} \chi_{1} + M_{yy} \chi_{2} + 2M_{xy} \chi_{12} + Q_{xz} (\psi_{x} - \theta_{1}) + Q_{yz} (\psi_{y} - \theta_{2}) \right] dS, \quad (15)$$

где внутренние силовые факторы (усилия, моменты и поперечные силы) вычисляются (в зависимости от учитываемых свойств материала) с помощью соотношений (4), (7) или (10), а деформации – по формулам (1) и (2).

С учетом (14) вариационное уравнение (12) обретает вид

$$\delta\Theta = \frac{1}{2} \iint_{S} \left[N_{xx} \delta \varepsilon_{xx} + N_{yy} \delta \varepsilon_{yy} + N_{xy} \delta \gamma_{xy} + M_{xx} \delta \chi_{1} + M_{yy} \delta \chi_{2} + 2M_{xy} \delta \chi_{12} + Q_{xz} \delta (\psi_{x} - \theta_{1}) + Q_{yz} \delta (\psi_{y} - \theta_{2}) - (P_{x} \delta U + P_{y} \delta V + q \delta W) \right] dS = 0. (16)$$

Преобразуем вариационное уравнение (16) так, чтобы под знаком (двойного) интеграла не было вариаций от производных искомых функций U,V,W и ψ_x,ψ_v .

Суть преобразования вариационного уравнения (с применением интегрирования по частям) поясним на примере первого члена:

$$\iint_{S} N_{xx} \delta \varepsilon_{xx} dS = \iint_{S} N_{xx} \delta \frac{DU}{\partial x} dS + \iint_{S} N_{xx} \theta_{1} \delta \frac{DW}{\partial x} dS,$$

где

$$\begin{split} \iint_{S} N_{xx} \delta \frac{DU}{\partial x} dS &= \iint_{S} N_{xx} \delta \frac{1}{A} \frac{\partial U}{\partial x} dS + \iint_{S} \left(N_{xx} \frac{1}{AB} \frac{\partial A}{\partial y} \delta V - N_{xx} K_{x} \delta W \right) dS \,, \\ \iint_{S} N_{xx} \theta_{1} \delta \frac{DW}{\partial x} dS &= - \iint_{S} N_{xx} \theta_{1} \delta \frac{1}{A} \frac{\partial W}{\partial x} dS - \iint_{S} N_{xx} \theta_{1} K_{x} \delta U dS \,, \end{split}$$

причем

$$\iint_{S} N_{xx} \delta \frac{1}{A} \frac{\partial U}{\partial x} dS = \int_{-b}^{b} N_{xx} \delta U \Big|_{x=-a}^{x=a} B dy - \iint_{S} \frac{1}{A} \frac{\partial N_{xx}}{\partial x} \delta U dS,$$

$$-\iint_{S} N_{xx} \theta_{1} \delta \frac{1}{A} \frac{\partial W}{\partial x} dS = -\int_{-b}^{b} (N_{xx} \theta_{1}) \delta W \Big|_{x=-a}^{x=a} B dy + \iint_{S} \frac{1}{A} \frac{\partial (N_{xx} \theta_{1})}{\partial x} \delta W dS.$$

В результате, используя известные из тензорного анализа [13,14] выражения (для дивергенции тензора в ортогональных криволинейных координатах) типа

$$\frac{DN_{xx}}{\partial x} + \frac{DN_{xy}}{\partial y} = \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial (BN_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial (AN_{xy})}{\partial y} \right), \quad \frac{DN_{yy}}{\partial y} + \frac{DN_{xy}}{\partial x} = \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial (AN_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial (BN_{xy})}{\partial x} \right)$$

и т.д., приведем вариационное уравнение (16) к виду

$$\delta \Theta = -\iint_{S} \left[\frac{1}{AB} \left(\frac{\partial (BN_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial (AN_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial B}{\partial x} N_{yy} - \frac{\partial A}{\partial y} N_{xy} \right) - K_{x} Q_{xz} + K_{x} (N_{xx} \theta_{1} + N_{xy} \theta_{2}) + P_{x} \right] \delta U dS - \\ -\iint_{S} \left[\frac{1}{AB} \left(\frac{\partial (AN_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial (BN_{xy})}{\partial x} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial A}{\partial y} N_{xx} - \frac{\partial B}{\partial x} N_{xy} \right) - K_{y} Q_{yz} + K_{y} (N_{yy} \theta_{2} + N_{xy} \theta_{1}) + P_{y} \right] \delta V dS - \\ -\iint_{S} \left[K_{x} N_{xx} + K_{y} N_{yy} + \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial (BQ_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial (AQ_{yz})}{\partial y} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial B(N_{xx} \theta_{1} + N_{xy} \theta_{2})}{\partial x} + \frac{\partial A(N_{yy} \theta_{2} + N_{xy} \theta_{1})}{\partial y} \right) + q \right] \delta W dS - \\ -\iint_{S} \left[\frac{1}{AB} \left(\frac{\partial (BM_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial (AM_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial B}{\partial x} M_{yy} - \frac{\partial A}{\partial y} M_{xy} \right) - Q_{xz} \right] \delta \psi_{x} dS -$$

$$-\iint_{S} \left[\frac{1}{AB} \left(\frac{\partial (AM_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial (BM_{xy})}{\partial x} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial A}{\partial y} M_{xx} - \frac{\partial B}{\partial x} M_{xy} \right) - Q_{yz} \right] \delta \psi_{y} dS +$$

$$+ \int_{-b}^{b} \left[N_{xx} \delta U + N_{xy} \delta V + \left(Q_{xz} - N_{xx} \theta_{1} - N_{xy} \theta_{2} \right) \delta W + M_{xx} \delta \psi_{x} + M_{xy} \delta \psi_{y} \right] \Big|_{x=-a}^{x=a} B dy +$$

$$+ \int_{-a}^{a} \left[N_{xy} \delta U + N_{yy} \delta V + \left(Q_{yz} - N_{yy} \theta_{2} - N_{xy} \theta_{1} \right) \delta W + M_{xy} \delta \psi_{x} + M_{yy} \delta \psi_{y} \right] \Big|_{y=-b}^{y=b} A dx = 0 .$$
 (17)

Полагая в вариационном уравнении (17) вариации $\delta U, \delta V, \delta W$ и $\delta \psi_x, \delta \psi_y$ произвольными под знаком двойного интеграла и приравнивая нулю сомножители, стоящие перед ними, получим искомые *уравнения* равновесия оболочки:

$$\begin{split} \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial (BN_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial (AN_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial B}{\partial x} N_{yy} - \frac{\partial A}{\partial y} N_{xy} \right) - K_{x} Q_{xz} + K_{x} (N_{xx} \theta_{1} + N_{xy} \theta_{2}) + P_{x} = 0; \\ \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial (AN_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial (BN_{xy})}{\partial x} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial A}{\partial y} N_{xx} - \frac{\partial B}{\partial x} N_{xy} \right) - K_{y} Q_{yz} + K_{y} (N_{yy} \theta_{2} + N_{xy} \theta_{1}) + P_{y} = 0; \\ K_{x} N_{xx} + K_{y} N_{yy} + \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial (BQ_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial (AQ_{yz})}{\partial y} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial B(N_{xx} \theta_{1} + N_{xy} \theta_{2})}{\partial x} + \frac{\partial A(N_{yy} \theta_{2} + N_{xy} \theta_{1})}{\partial y} \right) + q = 0; \\ \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial (BM_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial (AM_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial B}{\partial x} M_{yy} - \frac{\partial A}{\partial y} M_{xy} \right) - Q_{xz} = 0; \\ \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial (AM_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial (BM_{xy})}{\partial x} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial A}{\partial y} M_{xx} - \frac{\partial B}{\partial x} M_{xy} \right) - Q_{yz} = 0. (18) \end{split}$$

Из равенства нулю одномерных интегралов, входящих в вариационное уравнение (17), получаем естественные *граничные* (*краевые*) *условия* на контуре оболочки:

• при
$$x=-a$$
 и $x=a$
$$N_{xx}=const$$
 или $U=const$, $N_{xy}=const$ или $V=const$,
$$-N_{xx}\theta_1-N_{xy}\theta_2+Q_{xz}=const$$
 или $W=const$,
$$M_{xx}=const$$
 или $\psi_x=const$, $M_{xy}=0$ или $\psi_y=const$;

• при
$$y=-b$$
 и $y=b$
$$N_{xy}=const$$
 или $U=const$, $N_{yy}=const$ или $V=const$,
$$-N_{yy}\theta_2-N_{xy}\theta_1+Q_{yz}=const$$
 или $W=const$,
$$M_{xy}=const$$
 или $\psi_x=const$, $M_{yy}=const$ или $\psi_y=const$.

Полученные уравнения движения (18) ортотропных и изотропных ребристых оболочек общего вида позволяют совместно учитывать геометрическую нелинейность, дискретность расположения ребер (или вырезов), их конечную ширину, сдвиговую и крутильную жесткости ребер, а также эффект поперечных сдвигов.

Кроме того, уравнения (18) позволяют учитывать нелинейную упругость, а также возможные деформации ползучести материала.

Заметим, что в частном случае *пологих* ребристых оболочек (в процессе деформирования которых полагается, что величины K_xU и K_yV малы, $\frac{1}{A}\frac{\partial W}{\partial x}>>K_xU$ и $\frac{1}{B}\frac{\partial W}{\partial y}>>K_yV$, а значит $\theta_1\approx -\frac{1}{A}\frac{\partial W}{\partial x}$; $\theta_2\approx -\frac{1}{B}\frac{\partial W}{\partial y}$, причем A=B=1) уравнения равновесия (18) существенно упрощаются и имеют вид

$$\begin{split} \frac{\partial N_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} - K_x Q_{xz} + K_x (N_{xx} \theta_1 + N_{xy} \theta_2) + P_x &= 0; \\ \frac{\partial N_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} - K_y Q_{yz} + K_y (N_{yy} \theta_2 + N_{xy} \theta_1) + P_y &= 0; \\ K_x N_{xx} + K_y N_{yy} + \frac{\partial Q_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial Q_{yz}}{\partial y} - \left(\frac{\partial (N_{xx} \theta_1 + N_{xy} \theta_2)}{\partial x} + \frac{\partial (N_{yy} \theta_2 + N_{xy} \theta_1)}{\partial y} \right) + q &= 0; \\ \frac{\partial M_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - Q_{xz} &= 0; \frac{\partial M_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - Q_{yz} &= 0. (19) \end{split}$$

Граничные условия для пологих оболочек сохраняют прежний вид.

Примечание 3. Следуя А.К. Платонову и Э.Г. Перцеву [15], в первых двух уравнениях (19) членами, содержащими θ_1 и θ_2 , можно пренебречь, считая их несущественными.

Примечание 4. Следует заметить, что если непосредственно выводить уравнения равновесия пологих оболочек с учетом сделанных выше предположений, то в первых двух уравнениях (19) будут отсутствовать члены $K_x Q_{xz}$ и $K_y Q_{yz}$ в силу того, что при выводе (19) в квадратичных членах от угловых перемещений (характеризующих геометрическую нелинейность) величины $K_x U$ и $K_y V$ принимались равными нулю.

Литература

- 1. Жгутов В.М. Нелинейные свободные колебания пологих оболочек ступенчато-переменной толщины: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.17. СПб., 2004.
- 2. Жгутов В.М. Метод конструктивной анизотропии для ортотропных и изотропных ребристых оболочек. // Инженерно-строительный журнал. 2009. №8. Доступ в сети Интернет //http://www.engstroy.spb.ru/index 2009 08/zhgoutov1.html.
- 3. Нелинейные математические модели деформирования оболочек переменной толщины и алгоритмы их исследования: Учебное пособие // В.В. Карпов, О.В. Игнатьев, А.Ю. Сальников, М., СПб., 2002.
- 4. Жгутов В.М. Прочность и устойчивость упругих ортотропных и изотропных ребристых оболочек. І // Инженерно-строительный журнал. 2009. №7.– Доступ в сети Интернет //http://www.engstroy.spb.ru/index 2009 07/zhgoutov1.html.
- 5. Жгутов В.М. Математическая модель деформирования ортотропных и изотропных ребристых оболочек при учете ползучести материала // Инженерно-строительный журнал. 2009.– №7. Доступ в сети Интернет //http://www.engstroy.spb.ru/index 2009 07/zhgoutov1.html.
- 6. Жгутов В.М. Анализ различных подходов к исследованию ползучести в материале ребристых пологих оболочек // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2010. № 1. М., 2010.
- 7. Жгутов В.М. Анализ различных подходов к формированию расчетных уравнений в компьютерном моделировании упруговязких ребристых оболочек // «Особенности проектирования и расчета пространственных конструкций на прочность, устойчивость и прогрессирующее разрушение»: Научная сессия МОО «Пространственные конструкции» и научного совета РААСН «Пространственные конструкции зданий и сооружений»: Сборник статей. Москва, 14 апреля 2009 года, НИИЖБ. М., 2009.
- 8. Жгутов В.М. Математическая модель деформирования нелинейно-упругих ребристых оболочек при больших перемещениях // Инженерно-строительный журнал.— 2009. №6. С.16—24. Доступ в сети Интернет //http://www.engstroy.spb.ru/index 2009 06/zhgoutov.html.
- 9. Жгутов В.М. Математическая модель, алгоритм исследования и анализ устойчивости нелинейно-упругих ребристых оболочек при больших перемещениях // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2009.–№ 4. Спб., 2009.
- 10. Жгутов В.М. Устойчивость ребристых пологих оболочек при учете геометрической и физической нелинейностей // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2009. № 4.
- 11. Жгутов В.М. Устойчивость упругопластических ребристых оболочек при больших перемещениях // «Особенности проектирования и расчета пространственных конструкций на прочность, устойчивость и прогрессирующее разрушение»: Научная сессия МОО «Пространственные конструкции» и научного совета РААСН «Пространственные конструкции зданий и сооружений»: Сборник статей. Москва, 14 апреля 2009 года, НИИЖБ. М., 2009.
- 12. Жгутов В.М. Устойчивость железобетонных ребристых оболочек при учете геометрической и физической нелинейностей // Популярное бетоноведение. 2009. № 6. Спб., 2009.
- 13. Акивис М.А., В.В. Гольдберг. Тензорное исчисление. М., 1969.
- 14. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. М., 1965.
- 15. Перцев А.К., Платонов Э.Г. Динамика оболочек и пластин. Л., 1987.

*Владимир Михайлович Жгутов, Санкт-Петербург Тел. раб.: +7(812)378-20-83; эл. почта: abc_kitezh@mail.ru

Нелинейные уравнения движения ребристых оболочек с учетом различных свойств материала. II

К.т.н. В.М. Жгутов*,

ООО «Архитектурно-строительная компания «Китеж»

В предыдущих работах [1, 2] были рассмотрены изотропные и ортотропные оболочки общего вида, находящиеся под действием статической или динамической механической нагрузки в условиях проявления упругих, нелинейно-упругих и вязкоупругих свойств материала.

При этом предполагалось, что оболочки, закрепленные по контуру определенным образом, могут быть подкреплены ребрами жесткости, расставленными вдоль координатных линий (направленных по линиям кривизны) с внутренней стороны (со стороны вогнутости в случае выпуклых оболочек).

В работе [1], исходя из вариационного принципа Гамильтона-Остроградского, получен функционал полной энергии деформации ребристых оболочек общего вида при динамических нагрузках (действие) и при определенных допущениях выведены из условия стационарности действия уравнения движения (с соответствующими граничными и начальными условиями) для пологих ребристых оболочек.

В работе [2], исходя из вариационного принципа Лагранжа, получен функционал полной энергии деформации ребристых оболочек общего вида при статических нагрузках (разность потенциальной энергии и работы внешних сил) и выведены из условия стационарности функционала Лагранжа общие уравнения равновесия ребристых оболочек, а также естественные граничные условия.

В настоящей работе выполнено обобщение, развитие и анализ предложенных автором статических математических моделей на случаи задач динамики для ребристых оболочек общего вида и при учете различных свойств материала.

Рассматриваем процесс движения оболочки на промежутке времени $[t_0, t_1]$.

В соответствии с фундаментальным принципом наименьшего действия (в форме Гамильтона – Остроградского) истинные траектории движения точек системы для данного промежутка времени должны доставлять стационарное значение величине (действию) [1]:

$$I = \int_{t}^{t_1} (K - \Pi + A^E) dt$$
, (1)

где K и Π – кинетическая и потенциальная энергия системы соответственно; A^E – работа внешних сил.

Математически принцип наименьшего действия в этом случае выражается в виде вариационного уравнения

$$\delta I = \delta \int_{t_0}^{t_1} (K - \Pi + A^E) dt = 0, (2)$$

где δ – символ (изохронной) вариации.

Здесь

$$K = \frac{\rho}{2} \iiint_{\Omega} \left[\left(\frac{\partial U^{z}}{\partial t} \right)^{2} + \left(\frac{\partial V^{z}}{\partial t} \right)^{2} + \left(\frac{\partial W^{z}}{\partial t} \right)^{2} \right] d\Omega$$

$$\Pi = \frac{1}{2} \iiint_{\Omega} \left[\sigma_{xx} \varepsilon_{xx}^{z} + \sigma_{yy} \varepsilon_{yy}^{z} + \tau_{xy} \gamma_{xy}^{z} + \tau_{xz} \gamma_{xz} + \tau_{yz} \gamma_{yz} \right] d\Omega , (4)$$

$$A^{E} = \frac{1}{2} \iint_{S} \left(P_{x} U + P_{y} V + q W \right) dS , (5)$$

где $\rho = \gamma / g \approx const$ (γ –удельный вес материала оболочки, g – ускорение силы тяжести);

 P_{x} , P_{y} и q – компоненты внешней механической нагрузки в направлении координатных линий x, y и z; Ω – область в пространстве (x, y, z);

S – область в плоскости (x, y);

 $d\Omega$ и dS – дифференциалы объема и отсчетной поверхности данной оболочки соответственно $(d\Omega = ABdxdydz; dS = ABdxdy)$.

Проинтегрировав по z ($-h/2 \le z \le h/2 + H$) выражения (4) и (3), получим

$$\Pi = \frac{1}{2} \iint_{S} \left[N_{xx} \varepsilon_{xx} + N_{yy} \varepsilon_{yy} + N_{xy} \gamma_{xy} + M_{xx} \chi_{1} + M_{yy} \chi_{2} + 2M_{xy} \chi_{12} + Q_{xz} (\psi_{x} - \theta_{1}) + Q_{yz} (\psi_{y} - \theta_{2}) \right] dS,$$
 (6)

где внутренние силовые факторы (усилия, моменты и поперечные силы) вычисляются (в зависимости от учитываемых свойств материала) с помощью соотношений (4), (7) или (10), приведенных в работах [1, 2], а деформации – по формулам (1) и (2) работ [1, 2].

Кроме того,

$$K = \frac{\rho}{2} \int_{-a-b}^{a-b} \left\{ (h + \overline{F}) \left(\dot{U}^2 + \dot{V}^2 + \dot{W}^2 \right) + 2\overline{S} \left(\dot{U} \dot{\psi}_x + \dot{V} \dot{\psi}_y \right) + \left(\frac{h^3}{12} + \overline{J} \right) \left(\dot{\psi}_x^2 + \dot{\psi}_y^2 \right) \right\} dS . (7)$$

Преобразуем вариационное уравнение (2) с учетом соотношений (3)–(6) так, чтобы под знаком (тройного) интеграла не было вариаций от производных искомых функций U, V, W, ψ_x , ψ_y .

В результате вариационное уравнение (2) будет иметь вид

$$\begin{split} \delta I &= \int\limits_{t_0}^{t_1} \int\limits_{a-b}^{a} \int\limits_{b}^{b} \left\{ \left[\Phi_1(U,V,W,\psi_x,\psi_y) + P_x - \rho \left((h+\overline{F}) \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + \rho \overline{S} \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial t^2} \right) \right] \delta U + \\ &+ \left[\Phi_2(U,V,W,\psi_x,\psi_y) + P_y - \rho \left((h+\overline{F}) \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} + \rho \overline{S} \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial t^2} \right) \right] \delta V + \\ &+ \left[\Phi_3(U,V,W,\psi_x,\psi_y) + q - \rho (h+\overline{F}) \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} \right] \delta W + \\ &+ \left[\Phi_4(U,V,W,\psi_x,\psi_y) - Q_{xx} - \rho \overline{S} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - \rho \left(\frac{h^3}{12} + \overline{J} \right) \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial t^2} \right] \delta \psi_x + \\ &+ \left[\Phi_5(U,V,W,\psi_x,\psi_y) - Q_{yx} - \rho \overline{S} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} - \rho \left(\frac{h^3}{12} + \overline{J} \right) \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial t^2} \right] \delta \psi_y \right\} A B d x d y d t + \\ &+ \rho \int\limits_{-a}^{a} \int\limits_{-b}^{b} \left\{ \left[(h+\overline{F}) \frac{\partial U}{\partial t} + \overline{S} \frac{\partial \psi_x}{\partial t} \right] \delta U + \left[(h+\overline{F}) \frac{\partial V}{\partial t} + \overline{S} \frac{\partial \psi_y}{\partial t} \right] \delta V + \\ &+ (h+\overline{F}) \frac{\partial W}{\partial t} \delta W + \left[\overline{S} \frac{\partial U}{\partial t} + \left(\frac{h^3}{12} + \overline{J} \right) \frac{\partial \psi_x}{\partial t} \right] \delta \psi_x + \\ &+ \left[\overline{S} \frac{\partial V}{\partial t} + \left(\frac{h^3}{12} + \overline{J} \right) \frac{\partial \psi_y}{\partial t} \right] \delta \psi_y \right\} \int\limits_{t=t_0}^{t=t_1} A B d x d y - \int\limits_{t_0}^{t_1} \int\limits_{b} \left[N_{xx} \delta U + N_{xy} \delta V - \left(N_{xx} \theta_1 + N_{xy} \theta_2 + Q_{xx} \right) \delta W + M_{xx} \delta \psi_x + M_{xy} \delta \psi_y \right] \int\limits_{x=-a}^{x=a} B d y d t - \int\limits_{t_0}^{t_0} \int\limits_{-a}^{a} \left[N_{xy} \delta U + N_{yy} \delta V - \left(N_{yy} \theta_2 + N_{yy} \delta V \right) \right] \int\limits_{y=-b}^{y=b} A d x d t = 0 . \end{cases} (8) \end{split}$$

Здесь

$$\begin{split} &\Phi_{1}(U,V,W,\psi_{x},\psi_{y}) = \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial(BN_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(AN_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial B}{\partial x} N_{yy} - \frac{\partial A}{\partial y} N_{xy} \right) - K_{x}Q_{xz} + K_{x}(N_{xx}\theta_{1} + N_{xy}\theta_{2}) \,, \\ &\Phi_{2}(U,V,W,\psi_{x},\psi_{y}) = \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial(AN_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(BN_{xy})}{\partial x} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial A}{\partial y} N_{xx} - \frac{\partial B}{\partial x} N_{xy} \right) - K_{y}Q_{yz} + K_{y}(N_{yy}\theta_{2} + N_{xy}\theta_{1}) \,, \\ &\Phi_{3}(U,V,W,\psi_{x},\psi_{y}) = \\ &= K_{x}N_{xx} + K_{y}N_{yy} + \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial(BQ_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(AQ_{yz})}{\partial y} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial B(N_{xx}\theta_{1} + N_{xy}\theta_{2})}{\partial x} + \frac{\partial A(N_{yy}\theta_{2} + N_{xy}\theta_{1})}{\partial y} \right) \,, \\ &\Phi_{4}(U,V,W,\psi_{x},\psi_{y}) = \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial(BM_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(AM_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial B}{\partial x} M_{yy} - \frac{\partial A}{\partial y} M_{xy} \right) \,, \\ &\Phi_{5}(U,V,W,\psi_{x},\psi_{y}) = \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial(AM_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(BM_{xy})}{\partial x} \right) - \frac{1}{AB} \left(\frac{\partial A}{\partial y} M_{xx} - \frac{\partial B}{\partial x} M_{xy} \right) \,. \end{split}$$

Очевидно, что в уравнении (8) вариации $\delta U, \delta V, \delta W, \delta \psi_x$ и $\delta \psi_y$ следует считать произвольными. Следовательно, приравнивая нулю сомножители, стоящие перед каждой из указанных вариаций, получаем уравнения движения оболочки:

$$\Phi_{1}(U,V,W,\psi_{x},\psi_{y}) + P_{x} - \rho \left[(h + \overline{F}) \frac{\partial^{2} U}{\partial t^{2}} + \overline{S} \frac{\partial^{2} \psi_{x}}{\partial t^{2}} \right] = 0;$$

$$\Phi_{2}(U,V,W,\psi_{x},\psi_{y}) + P_{y} - \rho \left[(h + \overline{F}) \frac{\partial^{2} V}{\partial t^{2}} + \overline{S} \frac{\partial^{2} \psi_{y}}{\partial t^{2}} \right] = 0;$$

$$\Phi_{3}(U,V,W,\psi_{x},\psi_{y}) + q - \rho (h + \overline{F}) \frac{\partial^{2} W}{\partial t^{2}} = 0;$$

$$\Phi_{4}(U,V,W,\psi_{x},\psi_{y}) - Q_{xz} - \rho \left[\overline{S} \frac{\partial^{2} \overline{U}}{\partial t^{2}} + \left(\frac{h^{3}}{12} + \overline{J} \right) \frac{\partial^{2} \psi_{x}}{\partial t^{2}} \right] = 0;$$

$$\Phi_{5}(U,V,W,\psi_{x},\psi_{y}) - Q_{yz} - \rho \left[\overline{S} \frac{\partial^{2} V}{\partial t^{2}} + \left(\frac{h^{3}}{12} + \overline{J} \right) \frac{\partial^{2} \psi_{y}}{\partial t^{2}} \right] = 0. (9)$$

Из вариационного уравнения (8) получаем естественные граничные (краевые) условия:

• при
$$x=-a$$
 и $x=a$
$$N_{xx}=const$$
 или $U=const$, $N_{xy}=const$ или $V=const$,
$$-N_{xx}\theta_1-N_{xy}\theta_2+Q_{xz}=const$$
 или $W=const$,
$$M_{xx}=const$$
 или $\psi_x=const$, $M_{xy}=0$ или $\psi_y=const$;

• при y=-b и y=b $N_{xy}=const$ или U=const , $N_{yy}=const$ или V=const , $-N_{yy}\theta_2-N_{xy}\theta_1+Q_{yz}=const$ или W=const , $M_{xy}=const$ или $\psi_x=const$, $M_{yy}=const$ или $\psi_y=const$.

Из вариационного уравнения (8) получаем также и *начальные* условия при $t=t_0$:

$$(h+\overline{F})\frac{\partial U}{\partial t}+\overline{S}\frac{\partial \psi_x}{\partial t}=const$$
 или $U=const$;

$$\begin{split} (h+\overline{F})\frac{\partial V}{\partial t}+\overline{S}\frac{\partial \psi_y}{\partial t}&=const \text{ или }V=const \,;\\ \frac{\partial W}{\partial t}&=const \text{ или }W=const\,;\\ \overline{S}\frac{\partial U}{\partial t}+[(h^3/12)+\overline{J}]\frac{\partial \psi_x}{\partial t}&=const \text{ или }\psi_x=const\,;\\ \overline{S}\frac{\partial \overline{V}}{\partial t}+[(h^3/12)+\overline{J}]\frac{\partial \psi_y}{\partial t}&=const \text{ или }\psi_y=const\,. \end{split}$$

Полученные уравнения движения (9) ортотропных и изотропных ребристых оболочек общего вида учитывают геометрическую нелинейность, дискретность расположения ребер (или вырезов), их ширину, сдвиговую и крутильную жесткость ребер, а также эффект поперечных сдвигов и инерции вращения.

Кроме того, уравнения (9) позволяют учитывать нелинейную упругость, а также возможные деформации ползучести материала.

Примечание. В частном случае пологих ребристых оболочек (в процессе деформирования которых полагается, что величины K_xU и K_yV малы, $\frac{1}{A}\frac{\partial W}{\partial x}>>K_xU$ и $\frac{1}{B}\frac{\partial W}{\partial y}>>K_yV$, а значит $\theta_1\approx -\frac{1}{A}\frac{\partial W}{\partial x}$; $\theta_2\approx -\frac{1}{B}\frac{\partial W}{\partial y}$, причем

A=B=1) уравнения движения (9) существенно упрощаются и имеют вид

$$\begin{split} \frac{\partial N_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} - K_{x}Q_{xz} + K_{x}(N_{xx}\theta_{1} + N_{xy}\theta_{2}) + P_{x} - \rho \left[(h + \overline{F}) \frac{\partial^{2}U}{\partial t^{2}} + \overline{S} \frac{\partial^{2}\psi_{x}}{\partial t^{2}} \right] &= 0; \\ \frac{\partial N_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} - K_{y}Q_{yz} + K_{y}(N_{yy}\theta_{2} + N_{xy}\theta_{1}) + P_{y} - \rho \left[(h + \overline{F}) \frac{\partial^{2}V}{\partial t^{2}} + \overline{S} \frac{\partial^{2}\psi_{y}}{\partial t^{2}} \right] &= 0; \\ K_{x}N_{xx} + K_{y}N_{yy} + \frac{\partial Q_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial Q_{yz}}{\partial y} - \left(\frac{\partial(N_{xx}\theta_{1} + N_{xy}\theta_{2})}{\partial x} + \frac{\partial(N_{yy}\theta_{2} + N_{xy}\theta_{1})}{\partial y} \right) + q - \\ - \rho(h + \overline{F}) \frac{\partial^{2}W}{\partial t^{2}} &= 0; \\ \frac{\partial M_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - Q_{xz} - \rho \left[\overline{S} \frac{\partial^{2}\overline{U}}{\partial t^{2}} + \left(\frac{h^{3}}{12} + \overline{J} \right) \frac{\partial^{2}\psi_{x}}{\partial t^{2}} \right] &= 0; \\ \frac{\partial M_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - Q_{yz} - \rho \left[\overline{S} \frac{\partial^{2}V}{\partial t^{2}} + \left(\frac{h^{3}}{12} + \overline{J} \right) \frac{\partial^{2}\psi_{y}}{\partial t^{2}} \right] &= 0. \end{split}$$

Граничные и начальные условия для пологих оболочек сохраняют прежний вид.

Литература

- 1. Жгутов В.М. Нелинейные уравнения движения ребристых оболочек с учетом различных свойств материала. I // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1. Доступ в сети Интернет: http://www.engstroy.spb.ru/index_2010_01/zhgoutov.html.
- 2. Жгутов В.М. Нелинейные уравнения равновесия ребристых оболочек с учетом различных свойств материала // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2.— Доступ в сети Интернет: http://www.engstroy.spb.ru/index_2010_02/zhgoutov1.html.

*Владимир Михайлович Жгутов, Санкт-Петербург Тел. раб.: +7(812)378-20-83; эл. почта: abc kitezh@mail.ru

Наномодифицированный магнезиально-шунгитовый защитный бетон

Заместитель генерального директора А.С. Рыжов*; к.х.н., научный консультант Л.Н. Поцелуева, ООО «АЛЬФАПОЛ»

1. Вяжущие материалы и заполнители для производства защитного бетона

Многообразие условий эксплуатации бетона в промышленном строительстве определяет широкий диапазон свойств и предъявляемых к ним требований, в том числе экологического и защитного характера. Основными показателями, определяющими защитные свойства бетона, являются такие физико-химические характеристики, как плотность бетона и наличие химически связанной «гидратной» воды.

Для защиты от гамма-излучения применяют бетон на тяжелых природных и искусственных заполнителях, содержащих элементы с большим атомным номером. Это баритовые, железнорудные, чугунные, феррофосфорные и другие заполнители. Для ослабления нейтронного излучения, сопутствующего гамма-излучению, бетон должен содержать хороший поглотитель нейтронов, например, гидратированную химически связанную воду.

Для изготовления защитного бетона могут использоваться любые вяжущие материалы. Наибольшее распространение в качестве вяжущего получил портландцемент; рекомендации даются в советских [1, 2], американских (Дейвис, Орвил, Роквелл и др.), немецких (Яэгер, Айзенлоор и др.) публикациях.

Однако наиболее перспективным направлением является, на наш взгляд, использование в бетоне магнезиального цемента, в составе которого содержится большее (в два раза) по сравнению с портландцементом количество химически связанной воды. Химическая формула магнезиального цемента — $3(5) \text{ MgO} \times \text{MgCl}_2 \times 11(13) \text{ H}_2\text{O}$ — и данные, приведенные в табл.1 [1] наглядно подтверждают это утверждение.

Have-	Количество связанной воды	Количество связанной воды, % массы цемента в течение			
Цемент	1 мес	12 мес			
Портландцемент	15	20			
Шлакопортландцемент	15	20			
Гипсоглиноземистый	28	32			
Глиноземистый	25	30			
Магнезиальный	35	40			

Таблица 1. Количество воды, химически связанной цементом

В литературе [1] имеются указания на широкое применение магнезиального цемента для защиты ядерных установок (бетон «Брук Хавен», США).

Известно также, что магнезиальные горные породы и попутные продукты горнорудной промышленности имеют пониженную радиационную проницаемость при воздействии гамма- и нейтронного излучения. Массовые коэффициенты ослабления гамма-излучения уменьшаются на 1,5-3,0%; толщина слоя половинного ослабления снижается на 15-30% по сравнению с глиной, гранитом, базальтом. Бетон на заполнителях из магнезиального сырья отличается повышенной плотностью (2900 — 3200 кг/м³) и имеет толщину слоя половинного ослабления гамма-излучения 6.3-6.4 см, что на 14-18% ниже обычного бетона, и уступает лишь бетону с добавкой хрома [3].

В СССР и России не существовало до недавнего времени теоретической основы и надежной технологии изготовления магнезиального бетона. Теоретическая база разработана коллективом авторов под руководством академика В.В. Зуева, опубликована в 2006 г. в монографии «Кристаллоэнергетика как основа оценки свойств твердотельных материалов, включая магнезиальные цементы» [7].

2. Нанобетон. Наночастицы. Наномодификаторы. Фуллерены

Как уже отмечалось, свойства бетона как защитного материала определяются в значительной степени его структурой на микроскопическом уровне и зависят от характера и величины деформаций, сопротивления разрушению материала, капиллярной проницаемости и явлений тепломассообмена [4]. Нанобетоном можно назвать такой материал, который содержит в своём составе наноструктуры.

Вещество может приобрести совершенно новые свойства, если взять очень маленькую частицу этого вещества. Частицы размерами от 1 до 100 нанометров обычно называют наночастицами. Наночастицы сосуществуют с другими частицами, большими по размерам, управляя большинством процессов на разных уровнях.

По мнению ведущих ученых, мы постепенно входим в нанопространство, связанное с применением нанотехнологий, в котором действуют другие законы, отличные от законов квантово-физического мира с его молекулами, атомами и электронами. Нанотехнологии качественно отличаются от традиционных, поскольку привычные, макроскопические обращения с материей часто неприменимы, а микроскопические явления, пренебрежимо слабые в привычных масштабах, становятся намного значительнее свойств и взаимодействий отдельных атомов и молекул (например, силы Ван-дер-Ваальса, квантовые эффекты).

Можно ли приложить эти новые преставления о материи к области материаловедения, в частности, к строительным материалам? Очевидно, ответ положительный.

На сегодняшний день в этом направлении имеется значительное продвижение. Как показывает практика, постепенное уменьшение размера частиц в материале (например, в цементе) может значительно улучшить его характеристики. У обычного портландцемента удельная поверхность частиц составляет приблизительно 2500 см²/г. Такой цемент вступает в химическую реакцию с водой лишь на четверть своего объёма. Чтобы устранить этот недостаток, предложено измельчать материал до возможно малых размеров непосредственно перед использованием. Однако дополнительное измельчение цемента до микрочастиц является весьма дорогостоящим и экономически невыгодным предприятием.

Известно [4, 5], что в области размеров частиц от 50 до 100 мкм начинается изменение признаков коллоида в дисперсной системе (цемент–наполнитель–заполнитель) в водной среде: прекращение броуновского движения и резкое снижение величины свободной поверхностной энергии, что связано с установлением фазового равновесия внутри системы. Это соответствующим образом влияет на формирование структуры цементного камня.

Другое направление — введение в цементные смеси наномодификаторов — более перспективно и используется в заметных объёмах. Наиболее известный и широко используемый наномодификатор — это микрокремнезем, который является побочным продуктом при производстве ферросилиция и металлического кремния с размером коллоидных частиц $10^{-5} - 10^{-3}$ м [4]. Экспериментально установлено, что действие микрокремнезема весьма эффективно для улучшения свойств защитного бетона, используемого для изготовления контейнеров при захоронении радиоактивных отходов и отработанного ядерного топлива [6]. Установлено, что наночастицы в виде нанотрубок имеются в таком природном минерале, как **хризолитовый асбест**. Возможно, наличием нанотрубок можно объяснить упрочняющее действие, какое оказывает асбест на цементную матрицу (изделия — асбошифер, асбестоцементные трубы т.д.).

Содержит нанотрубки и минерал серпентинит. На основе этого минерала, измельчённого до наноразмерного состояния, изготавливают так называемые ремонтно-восстановительные составы (для восстановления изношенных металлических трущихся поверхностей).

Особое место по использованию для производства нанобетонов занимают фуллероиды: одно- и многослойные нанотрубки. Это фуллереноподобные вещества, значительно более дешевые, чем фуллерены, и применяются они уже достаточно широко.

Фуллерен имеет каркасную структуру, очень напоминающую футбольный мяч, состоящий из «заплаток» пяти- и шестиугольной формы. Если представить, что в вершинах этого многогранника находятся атомы углерода, то мы получим самый стабильный фуллерен C_{60} . В молекуле C_{60} , которая является наиболее известным, а также наиболее симметричным представителем семейства фуллеренов, число шестиугольников равно 20. При этом каждый пятиугольник граничит только с шестиугольниками, а каждый шестиугольник имеет три общие стороны с шестиугольниками.

Фуллерены являются веществами, хотя и высокоэффективными как упрочнители цементных материалов, однако очень дорогими и поэтому в широкой практике не используются.



Рисунок 1. Структура фуллерена

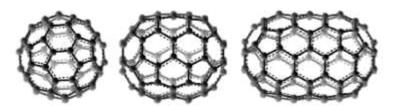


Рисунок 2. Представители фуллеренов: C₆₀, C₇₀, C₉₀

Нанотрубка — это молекула из более чем миллиона атомов углерода, представляющая собой трубку с диаметром около нанометра и длиной несколько десятков микрон. В стенках трубки атомы углерода расположены в вершинах правильных шестиугольников.

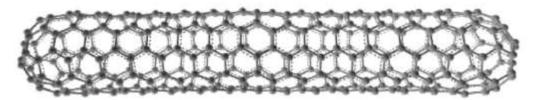


Рисунок 3. Структура нанотрубки

3. Вода – природный наномодификатор

Самым уникальным, поразительным примером наноструктур является вода. Почти вся биосфера нашей планеты (да и наш организм) – это 65% воды.

Главенствующая роль воды совершенно очевидна. По мнению ведущих ученых (В. Казначеев. Энергия и информация), «вода важнейшее связующее звено, которое реализует информационно-энергетическую передачу космоса на живое вещество». Что и как именно воспринимает из космоса вода, когда она находится в клетке, в нашей крови или в наших нейронах? Если подходить к изучению воды с точки зрения кластеров (наноструктур), то можно объяснить все ее свойства (Мартин Чаплин. Кластеры – структурные единицы: «Не существует другой гипотезы, которая позволяла бы понять природу воды»).

Когда начали изучать возможные структуры в воде, то оказалось, что структуры кремниевых пород и возможные структуры воды подобны друг другу, т. е. в каком-то смысле оксид кремния – та же вода, только невероятно медленно меняющая свои структурные свойства (В. Воейков. МГУ. Горящая вода).

Вода как первичная наноструктура является матричной основой в дисперсных цементных системах, при затвердевании которых образуется камнеподобный материал, зачастую не уступающий по своим свойствам природным минералам.

Таким образом, микроскопический уровень материалов включает в качестве матричной основы связующего структурированную (псевдотвердую) воду, имеющую высокую энергию связи. К примеру, энергия испарения воды в первом адсорбционном слое (монослое) составляет 8000 кал/моль [3]. Большинство исследований в области твердения вяжущих веществ посвящено механизму гидратации и изучению продуктов гидратации. Однако, несмотря на проводимые в этой области серьезные исследования (работы В.В. Дерягина, Л.И. Хейфица, И.Н. Ахвердова, Е.И. Шмитько и др.), единой и общепринятой теории твердения цемента до сих пор не разработано в силу чрезвычайной сложности этого многофакторного процесса.

Таким образом, можно утверждать, что наночастицы (НЧ) и наноструктуры (НС) присутствуют на Земле, в природе, в воде, в минералах и, в частности, в шунгите, изначально.

4. Применение шунгита в защитном радиационностойком бетоне на магнезите и портландцементе

Быстро развивающимся направлением строительной нанотехнологии в России является производство строительных материалов с использованием шунгита.

Шунгитовая порода группы III представляет собой природный композит, состоящей из 26-30% углерода и 56-60% силикатных частиц. Характерной особенностью шунгитового углерода является также наличие глобул, типа фуллероидов, содержащих в своем составе фуллереноподобные наночастицы (одно- и многослойные нанотрубки, нанобаррели, нанолуковицы, наноконусы и т.п.) [8].

Матрица аморфного углерода шунгитовой породы Зажогинского месторождения включает в себя нанокристаллические частицы оксида кремния (см. ниже микрофотографию шлифа кускового материала шунгита [7]).

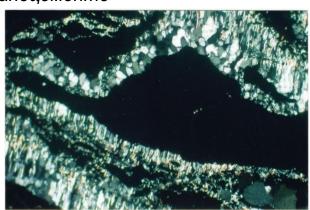


Рисунок 4. Прожилки параллельношестоватых агрегатов кварца в основной массе (черное) шунгита. Проходящий свет, николи скрещены, увеличение 300х

Известно, что при старении оксид кремния распадается на кластеры из Si и SiO_2 , содержащие до 10^{20} см⁻³ парамагнитных центров. Известно также, что электронный парамагнитный резонанс (эффект Зеемана) – резонансное поглощение радиоволн – обусловлен квантовыми переходами между магнитными подуровнями парамагнитных атомов и ионов. Спектры ЭПР наблюдаются главным образом в диапазонах сверхвысоких Рыжов А.С., Поцелуева Л.Н. Наномодифицированный магнезиально-шунгитовый защитный бетон

частот. Наличие парамагнитных центров, по-видимому, объясняет эффект поглощения шунгитом радиоволн в высокочастотном диапазоне.

Шунгитовые порошки разной тонины помола весьма перспективны в качестве наполнителя в резине, полимерах, мастиках, замазках, красках, а также в качестве наполнителя при изготовлении защитного бетона. В качестве наполнителя преимущественно используются порошки шунгитовой породы группы III, в силу своей уникальности по структуре (см. выше), а также технологичности при измельчении [8]. В качестве примера можно привести производство защитного модифицированного бетона — консерванта для захоронения радиоактивных отходов с гарантированной надежностью, сроком до 300 лет.

В соответствии с существующей на сегодняшний день научной концепцией, структура модифицированного защитного бетона-консерванта должна быть газопроницаемой (для отвода продуктов радиационного разложения воды) и водонепроницаемой, препятствующей миграционно-диффузионным процессам проникновения радионуклидов в окружающую среду после их захоронения. Состав такого бетона известен [6]. Портландцемент М500 – 37%, высокодисперсный шунгит – 13%, шунгитовый песок – 32%, высокодисперсный порошок карбида бора 2%, модифицирующие добавки и вода – остальное. Однако, как отмечает автор, при введении тонкодисперсных порошков в цементные смеси возникает ряд проблем, таких, как образование пыли, сложность обеспечения на обычном смесительном оборудовании равномерного распределения микрочастиц в цементной смеси, особенно в малых количествах.

Кроме того, как выяснил автор, адгезия между частицами шунгита и цементным камнем практически отсутствует, и поэтому эти частицы можно рассматривать как условные поры в цементном монолите. Кроме того, при перемешивании дисперсий шунгита с цементом очень трудно получить однородную (гомогенную) смесь. Механизм перемешивания подобен механизму перемешивания цемента с машинным маслом [6]. Напротив, магнезиальный цемент, как это будет показано ниже, имеет высокую адгезию к шунгиту. Промышленность уже выпускает несколько видов бетонных и растворных строительных смесей на магнезиальном вяжущем с шунгитом. Причем соотношение основных компонентов вяжущее/шунгит существенно отличается от составов на портландцементе: магнезит – до 10%, шунгит – до 85% [9].

5. Краткие сведения о защитных свойствах магнезиально-шунгитовых строительных смесей. Сравнительные характеристики с бетонами на портландцементе

При затворении каустического магнезита (MgO) концентрированным раствором бишофита (MgCl₂) в начале гидратации кристаллизуется неустойчивое метастабильное соединение 5MgO·MgCl₂·13H₂O, которое постепенно переходит в конечную устойчивую фазу 3MgO·MgCl₂·11H₂O с большим количеством химически связанной воды. Высокая прочность этого соединения обусловлена его текстурой, отличающейся взаимным прорастанием спиралевидных трубчатых нитевидных агрегатов [10], наблюдаемых в сканирующем электронном микроскопе (Установка Geolco JSM, США университет штата Иллинойс).

К достоинствам магнезиального цемента также следует отнести высокий темп нарастания прочности. Обычно в возрасте одних суток прочность бетонов и растворов достигает 30-50%, а в возрасте 7 суток 60-90% от максимального значения.

В отличие от магнезиальных составов, бетон и растворы на основе портландцемента, как известно, имеют замедленное твердение, неоднородный состав и конгломератное строение. Образующиеся в процессе гидратации портландцемента кристаллические и коллоидные новообразования с течением времени высыхают и уплотняются, что сопровождается усадкой цементного камня [11].

В отношении магнезиального цемента была проделана успешная, на наш взгляд, исследовательская работа по объяснению и количественному описанию его свойств с точки зрения современных энергетических подходов [7]. В этой работе проведен сравнительный анализ магнезиального и кальциево-силикатного цементов по рассчитанным для них энергетическим характеристикам и свойствам. В частности, особо следует подчеркнуть явное преимущество магнезиального цемента (по сравнению с портландцементом) по удельным массовым энергетическим параметрам Ет и Wm, что сближает его с весьма стабильными минералами [12] (таблица 2), которые являются наиболее устойчивыми природными химическими соединениями в составе земной коры, а также верхней мантии.

Как следствие, магнезиальный цемент характеризуется высокими параметрами максимальной частоты колебания атомов vm (таблица 3), что, по-видимому, является ключом к объяснению повышенных защитных (экранирующих) свойств материалов на основе магнезиального цемента в смеси с шунгитом от гамма-излучений [7] и воздействия электромагнитных излучений радиочастотного диапазона.

Таблица 2. Сравнительная характеристика свойств магнезиального и кальциево-силикатного цементов

Удельные энергии атомизации	Ет,қДж[г 36,27	Ет,кДж[г 25,69
Удельные энергии сцепления остовов и электридов	Wm, МДж[г, 0,81	Wm, МДж[г 0,58

Таблица 3. Энергетические и частотные характеристики графита, шунгита, магнезиального цемента и портландита

Вещество	Еа, кДж/моль	Em, кДж/г	Р, г/см ³	Еv, кДж/см³	vm, ТГц
Графит	718,6	59,8	2,27	136	23,2
Шунгит	700	58,3	1,95	114	23,7
Магнезиальный цемент	15021	36,3	1,86	67,5	17,6
Гиллебрандит	29791	25,7	2,69	69	14

Примечание. Для графита приведены данные согласно (Мамыров, 1991), для остальных соединений – рассчитанные параметры.

Из данных таблицы 3 однозначно следует вывод, что по параметрам удельной массовой энергии атомизации (Em) и частотным характеристикам (vm) магнезиальный цемент превосходит традиционный цемент типа портландита (гиллебрандит). Этот вывод подтверждают исследования ученых, выполненные в аккредитованных лабораториях. Изготовленные с применением магнезиального цемента с шунгитовым и баритовым наполнителями защитные изолирующие панели (экраны, штукатурные и напольные смеси) способны обеспечивать многократное ослабление воздействия гамма-излучения [13]. Причем магнезиальношунгитовые и магнезиально-баритовые составы имеют примерно одинаковый коэффициент ослабления гамма-излучения.

Возможное объяснение этому эффекту следует искать, как уже указывалось, в высоких параметрах Ет и vm шунгита и магнезиального цемента.

Если принять защитные экраны состоящими на 15% из магнезиального цемента и на 85% из шунгита, то средние параметры такого материала будут следующими: Em=55 кДж/г, vm = 22,7 ТГц. Для сравнения, по приведенной выше рецептуре радиационно-защитного бетона на портландцементе (37%/45% цемент/шунгит), можно вычислить параметры Em=35,7 кДж/г, vm=15,9 ТГц, соответственно. Сравнение не в пользу портландцемента. Обращает на себя внимание (таблица 3) близость (совместимость) не только частотных характеристик, но также плотностей шунгита и магнезиального цемента, что является благоприятным фактором при изготовлении защитных материалов из смесей этих веществ.

Согласно данным Мамырова Э.М. [14], наиболее высокие значения vm характерны для самых высокоэнергоплотных неорганических веществ (минералов): алмаза (vm=26,9 TГц) и графита (vm=23,16 ТГц). Шунгит как весьма специфическая природная форма углерода представляет собой хаотическую беспорядочную сетку гибридных ковалентных spx-связей атомов углерода. Поэтому шунгит является перспективным природным материалом для выполнения защитных (экранирующих от различного рода излучений) функций, например, электромагнитных полей [15].

Таким образом, превосходство защитных свойств магнезиально-шунгитовых материалов над портландцементным бетоном с шунгитовым наполнителем можно считать теоретически обоснованным с точки зрения современных энергетических подходов.

Кроме того, не следует забывать, что тонкомолотый шунгит включает в себя нанокристаллические частицы оксида кремния в исходной матрице аморфного углерода, что, по-видимому, отвечает за резонансное поглощение радиоволн в высокочастотном диапазоне.

6. Применение магнезиально-шунгитовых строительных смесей для нейтрализации радона и гамма-излучения

Современные магнезиально-шунгитовые строительные материалы в виде сухих строительных смесей (штукатурные составы и напольные покрытия) обладают уникальной комбинацией свойств и оптимальными эксплуатационными характеристиками, что позволяет использовать их для решения следующих задач по обеспечению радиационной безопасности:

- снижения уровня облучения людей радоном (продуктами распада) и другими природными радионуклидами;
- защиты персонала от воздействия всех видов источников ионизирующих излучений;
- при изготовлении контейнеров для радиоактивных отходов, а также для герметизации газовыделяющих радиоактивных веществ;
- омоноличивания твердых радиоактивных отходов;
- отверждения жидких радиоактивных отходов.

6.1. Радон. Защита от природных источников излучения

Известно, что природные источники ионизирующего излучения создают более 2/3 суммарной дозы, получаемой населением. При этом наибольшую долю в облучение населения вносит радон (Rn), а точнее, продукты его распада.

Разработан магнезиально-шунгитовый материал, предназначенный для изготовления стяжек пола с целью уменьшения поступления радона в воздух помещений. Причем количество шунгита варьируется в пределах всего 1-2%. Материалы на основе магнезита обладают высокой износоустойчивостью, прочность на сжатие достигает 60-70 МПа. Стяжки пола могут быть выполнены в жилых (подвальных), производственных помещениях, в местах с превышением уровня выделения радона из почвы. Санкт-Петербургским институтом радиационной гигиены им. Рамзаева проведена серия экспериментальных исследований радонозащитных характеристик ряда рецептур.

Характеристики радонозащитного материала представлены в таблице 4, в которой для сравнения приведены данные литературы по числовым значениям коэффициента диффузии и длины диффузии радона в различных средах. Для сравнения: по значению коэффициента диффузии магнезиально-шунгитовый радонозащитный бетон «КР» превосходит тяжелый бетон примерно в 100 раз, а по длине диффузии – в десять.

Таблица 4. Сравнительные радонозащитные характеристики различных материалов

Материал, среда (слой 1см)	Коэффициент диффузии радона D, (см²/сек)	Длина диффузии радона I, (см)
Воздух	1,0x10 ⁻¹	218,0
Вода	1,0x10⁻⁵	2,2
Бетоны тяжелые	3,5x10 ⁻⁴	13,0
Бетоны легкие	1,4x10 ⁻³	26,0
Кирпич	4,7x10 ⁻⁴	15,0
Магнезиально-шунгитовый радонозащитный бетон «КР»	$(5.0 \pm 1.1) \times 10^{-6}$	1,54 (1,4 ÷ 2,9)

6.2. Защита от техногенных ионизирующих излучений

Экспериментальная оценка кратности ослабления гамма-излучения проводилась для диапазона энергий 0,122...0,0595 МЭВ, соответствующего рентгеновскому излучению рентгеновских аппаратов с анодным напряжением в диапазоне 122...59,5 кВ. Результаты экспериментальной оценки кратности ослабления гамма-излучения образцами № 1-3 толщиной 10мм представлены в таблицах 5, 6 [14].

6.3. Сравнительная оценка кратности ослабления гамма-излучения магнезиально-шунгитовой и магнезиально-баритовой штукатуркой

Таблица 5. Результаты экспериментальной оценки кратности ослабления гамма-излучения. Радионуклид америций -241 — энергия 0,0595 МЭВ

№п/п	Образец штукатурки	МЭД, мкГр[ч	МЭД, мкГр[ч	Кратность ослабления
1	Баритовая (на КБ-5)	0,11	0,01	11,0
2	Баритовая (на КБ-3)	0,11	0,01	11,0
3	ШТ-1 (на шунгите)	0,11	0,01	11,0

Все составы имеют равные процентные соотношения вяжущее/заполнитель (10%/85%).

Кратность ослабления гамма-излучения для энергии 0,0595 МЭВ (что соответствует рентгеновскому излучению рентгеновских аппаратов с анодным напряжением 59,5кВ) для образцов штукатурки № 1-3 практически не отличается.

Таблица 6. Результаты экспериментальной оценки кратности ослабления гамма-излучения. Радионуклид кобальт-57- энергия 0,122 МЭВ

№ п/п	Образец штукатурки	МЭД, мкГр/ч	МЭД, мкГр/ч	Кратность ослабления
1	Баритовая (на КБ-5)	0,12	0,03	4,0
2	Баритовая (на КБ-3)	0,12	0,04	3,0
3	ШТ-1 (на шунгите)	0,12	0,06	2,0

Кратность ослабления гамма-излучения образцами штукатурки 1,2 значительно не отличается для энергии 0,122 МЭВ, что соответствует рентгеновскому излучению рентгеновских аппаратов с анодным напряжением 122кВ. Учитывая погрешность методики измерения мощности (30%) при оценке кратности ослабления для образцов штукатурки на концентратах КБ-5 и КБ-3 можно принять в качестве среднего значения величины кратности ослабления- $4,0\pm30,0$ %. Несколько ниже кратность ослабления для штукатурки ШТ-1 на шунгитовом заполнителе.

Учитывая полученные результаты измерений, следует применять разные составы штукатурки для разных источников излучения.

Разработаны Рекомендации по защите от излучения рентгеновских аппаратов со стандартизированными значениями анодного напряжения от 90 до 125 кЭв [16]. Рекомендации используются для проектирования экологически безопасных помещений в соответствии с требованиями НРБ-99.

Литература

- 1. Дубровский В. Б., Аблевич 3. Строительные материалы и конструкции защиты от ионизирующих излучений. Совместное издание СССР-ПНР М., 1983.
- 2. Прошин А.П., Демьянова В.С., Калашников Д.В. Особо тяжелый высокопрочный бетон для защиты от радиации с использованием вторичных ресурсов. Пенза, 2002.
- 3. Максимов С.В., Комохов П.Г. и др. Материалы для конструирования защитных покрытий. Учебное пособие. М., 2000.
- 4. Комохов П.Г. Структура и гиперзащитные свойства бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2003, №5.
- 5. Фукс Г.И. Основные направления развития современной коллоидной химии // Успехи коллоидной химии. Ташкент, 1987. С. 10-27.
- 6. Комохов П.Г. Защитный бетон от радиации // Цемент. Бетон. Сухие строительные смеси. Международное аналитическое обозрение, № 1(02). Спб., 2008.
- 7. Зуев В.В., Поцелуева Л.Н., Гончаров Ю.Д. Кристаллоэнергетика как основа оценки свойств твердотельных материалов (включая магнезиальные цементы). СПб, 2006.
- 8. Калинин Ю.К., Калинин А.И., Скоробогатов Г.А. Шунгиты Карелии. СПб, 2008.
- 9. Поцелуева Л.Н., Гончаров Ю.Д. Сухая строительная смесь. Патент на изобретение №2233255, 2003.
- 10. Маткович Б., Рогич В. Модифицированный магнезиальный цемент // Труды VI международного конгресса по химии цемента. М.,1974.
- 11. Кузнецова Т.В., Сычев М.М. и др. Специальные цементы. СПб, 1997.
- 12. Зуев В.В., Денисов Г.А., Мочалов Н.А. и др. Энергоплотность как критерий оценки свойств минеральных и других кристаллических веществ. М., 2000.
- 13. Протокол испытаний по оценке кратности ослабления гамма-излучения образцами сухих строительных смесей ТМ АЛЬФАПОЛ. ФГУН «НТЦ АТЛАС». СПб., 2008.
- 14. Мамыров Э.М. Удельная энергия атомизации и физические свойства минералов и горных пород. Бишкек,
- 15. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследования по оценке эффективности экранирования электромагнитных полей магнезиально-шунгитовым материалом АЛЬФАПОЛ ШТ-1». МО РФ. в/ч 70170. СПб., 2005
- 16. СП 2.6.1.758-99 Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99).

Александр Сергеевич Рыжов, Санкт-Петербург

Тел. paб.: +7(812)373-92-92; эл. почта: asr@alfapol.ru

Звукоизолирующая панель с максимально возможной звукоизолирующей способностью

PhD, к.т.н., доцент В.Э. Абракитов*, Харьковская национальная академия городского хозяйства

Известно, что наилучшей преградой на пути проникновения звука является среда, не обладающая упругостью, т.е. вакуум. Известны различные конструкции звукоизолирующих средств, содержащие вакуум, как правило, заключённый внутри герметичной оболочки (предназначенной для изоляции указанного вакуумированного пространства от атмосферы) [1, 2, 3, 4]. Недостатком таких конструкций является невысокая звукоизолирующая способность.

Задачей нашей разработки является повышение звукоизолирующей способности до максимально возможной величины. Наша разработка, защищённая патентом России [5], относится к техническим средствам борьбы с шумом на пути его распространения путем звукоизоляции, т.е. к звукоизолирующим панелям.

Наиболее эффективным является использование таких панелей в качестве ограждающей конструкции так называемых реверберационных камер, где нужно обеспечить как можно большее многократное отражение звука (т.е. большой коэффициент отражения и малый коэффициент пропускания звука через ограждающую конструкцию).

Звукоизолирующая панель с максимально возможной звукоизолирующей способностью [5] имеет корпус, выполненный цельным и герметичным, со звукопоглощающей прокладкой, размещенной как на лицевой, так и на тыльной сторонах панели. В корпусе и на несущих конструкциях сооружения, к которым прикреплена панель, размещены магниты, образующие бесконтактные узлы крепления (магнитную подвеску). Параметры указанных магнитов (полярность и напряженность магнитов поля) подобраны таким образом, что между корпусом панели и несущими конструкциями сооружения, к которым прикреплена панель, образован промежуток, заполненный атмосферным воздухом, а во внутренней полости панели обеспечено наличие среднего вакуума, характеризующегося равенством или незначительным превышением длины свободного пробега молекул l над наименьшим расстоянием d между стенками внутренней полости.

Также решение задачи достигается тем, что в конструкции бесконтактных узлов крепления использованы электромагниты.

Также важно, что корпус панели изготовлен из фторопласта, армированного металлом, причем арматура корпуса используется в качестве части бесконтактного узла крепления как обмотка входящего в его состав электромагнита.

Под повышением звукоизолирующей способности понимается, в первую очередь, уменьшение коэффициента пропускания звука, представляющего собой отношение потока звуковой энергии, прошедшего через звукоизоляцию, к общему (входящему) потоку звуковой энергии. Согласно [6] звукоизоляционные качества какого-либо ограждения от воздушного звука определяются коэффициентом пропускания звука τ , а всякое ограждение характеризуется величиной звукоизолирующей способности

$$R = 10 \lg l / \tau$$
 дБ (1)

Технический результат разработки — полная минимизация коэффициента пропускания звука через внутреннюю полость $\tau=0$, что ведет к обеспечению максимально возможной звукоизолирующей способности $R=\infty$ дБ. Кроме того, за счет оговоренной конструкции бесконтактных узлов крепления предотвращается передача структурного звука на несущие конструкции сооружения, к которым прикреплена панель. Средний вакуум во внутренней полости обеспечивает невозможность пропускания звука через нее. Согласно [7] вакуум представляет собой состояние заключенного в сосуд газа с давлением значительно ниже атмосферного, и поведение этого газа определяется соотношением между длиной свободного пробега l молекул или атомов, т.е. средним расстоянием, проходимым частицей между двумя ее последовательными соударениями с другими частицами, и размером d, характерным для данного прибора или процесса. Там же определяется понятие средний вакуум, как характеризующийся выполнением условия: $l \approx d$.

Звуковые волны относятся к так называемым упругим волнам, где звуковая энергия передается за счет упругих колебаний среды (за счет столкновений соседних частиц). Когда давление газовой среды распространения звуковых волн уменьшается по сравнению с атмосферным (низкий вакуум), передача звуковой энергии уменьшается, но не прекращается полностью (прототип). Когда же в среде распространения звука создан средний вакуум, она теряет свойство упругости, и пропускание звука через нее прекращается полностью. Это подтверждается работой [8], где говорится, что при условии $l \ge d$ переносимый импульс пропорционален числу молекул, способных его переносить, и обращается в нуль при полном вакууме. Если d

 наименьшее расстояние между стенками внутренней полости, то частица, переносящая звуковую энергию, на всем пути от одной стенки полости до другой просто не встречает другую молекулу, которой она может передать переносимую ей энергию звуковых колебаний.

Цельный и герметичный корпус предлагаемой панели обеспечивает поддержание в ее внутренней полости среднего вакуума на весь расчетный срок ее эксплуатации.

На рис. 1 показана звукоизолирующая панель с максимально возможной звукоизолирующей способностью, разрез.

В состав звукоизолирующей панели с максимально возможной звукоизолирующей способностью входят цельный и герметичный корпус 1, изготовленный из фторопласта, в который замурована арматура 2 из металла, с внутренней полостью 3 (характеризующейся наименьшим расстоянием dмежду ее стенками), в которой обеспечено наличие среднего вакуума с соблюдением условия $l \ge d$. Корпус 1 имеет звукопоглощающие прокладки на лицевой 4 и тыльной 5 сторонах, при этом в корпус 1 и несущие конструкции 6 сооружения, к которым он прикреплен, установлены магниты (электромагниты) 7. Их полярность и напряженность поля подобраны таким образом, магнитного отсутствовал прямой механический контакт между корпусом 1 и несущими конструкциями 6 и между ними был образован промежуток 8, заполненный воздухом.

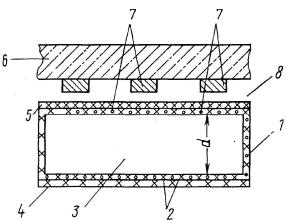


Рисунок 1. Разрез звукоизолирующей панели с максимально возможной звукоизолирующей способностью

Устройство работает следующим образом. Общий входящий поток звуковой энергии Φ_{BX} , попадающий на лицевую сторону корпуса панели, согласно закону сохранения энергии частично отражается назад в окружающую среду Φ_{omp} , частично поглощается веществом корпуса 1 панели и специально установленной на ней звукопоглощающей прокладкой 4 Φ_{nozq} , частично пропускается сквозь панель: Φ_{mon} .

$$\Phi_{BX} = \Phi_{omp} + \Phi_{nocn} + \Phi_{npon}$$
 (2)

Задача изобретения - уменьшение Φ_{npon} – выполняется за счет того, что основная часть Φ_{npon} затухает при попадании во внутреннюю вакуумированную полость 3 из-за отсутствия в ней элементов упругой среды, т.е. условий распространения звука.

Требуемое давление в его внутренней полости 3 может быть вычислено следующим образом (чтобы обеспечить условие $l \geq d$). Согласно [9] известно, что длина свободного пробега молекул из кинетической теории газов составляет

$$l = \frac{K \cdot t}{\pi \sqrt{2} D^2 p} \,, \, (3)$$

где l - средняя длина свободного пробега молекул, м;

 $K=1,38\cdot1023$ Дж/К - постоянная Больцмана;

P - искомое давление газа, Па;

D - диаметр молекулы, м;

T - абсолютная температура, K, при этом K√2π=3,11-10-24 Дж/K.

Зная реальную величину для условия $l \ge d$, согласно (3) рассчитывают необходимое давление во внутренней полости для газа (в основном воздуха), подставляя в формулу (3) известную величину диаметра молекулы и температуры газа, характерной для условий эксплуатации. Как правило, требуемое давление лежит в диапазоне $10^2 > P > 10^{-1}$ Па.

Однако часть Φ_{npon} в виде структурного звука распространяется по другим элементам панели, т.е. по корпусу 1. Т.к. корпус 1 изготовлен из фторопласта, т.е. материала с большим коэффициентом звукопоглощения, эта часть Φ_{npon} переходит в Φ_{noen} . Кроме того, на тыльной стороне панели имеется звукопоглощающая прокладка 5, предотвращающая распространение звука с тыльной стороны.

Т.к. часть звуковой энергии может распространяться по корпусу в виде так называемого структурного звука и через узлы крепления переходить на несущие конструкции сооружения, к которым прикреплена панель, предусмотрены бесконтактные узлы крепления с воздушным промежутком между корпусом панели и несущими конструкциями, что предотвращает распространение структурного звука. Т.к. параметры магнитов подобраны таким образом, что между тыльной стороной корпуса 1 и несущими конструкциями сооружения 6 образован промежуток 8, заполненный воздухом, условия, благоприятные для распространения в нем звука, отсутствуют. Колебания панели относительно неподвижных несущих конструкций 6 гасятся магнитами 7. Таким образом обеспечивается полная минимизация коэффициента пропускания звука au = 0 и максимально $R = \infty$ Дополнительно возможная звукоизолирующая способность дБ. возможно звукопоглощающие прокладки не только на лицевой и тыльной, но и на боковых сторонах панели.

Дополнительное снижение шума обеспечивается звукопоглощающей прокладкой, размещенной как на лицевой (куда первоначально попадает звуковая волна), так и на тыльной (противоположной) сторонах панели (где она предотвращает переход звуковой энергии в заполненный воздухом промежуток между корпусом и несущими конструкциями сооружения).

В конструкции бесконтактных узлов крепления могут быть использованы как постоянные магниты, так и электромагниты (что более технологично и удобно), но их параметры должны быть подобраны таким образом, чтобы обеспечивалось отсутствие прямого механического контакта между корпусом панели и несущими конструкциями сооружения (по указанным выше причинам). Корпус панели изготовлен из материала с большим коэффициентом звукопоглощения (что увеличивает эффективность панели), а именно фторопласта, который, кроме того, является идеальным материалом для вакуумных сосудов (традиционно используется для их изготовления по причине малой газопроницаемости и др.), в который для обеспечения большей прочности замурована арматура. Эта арматура может быть использована как обмотка электромагнита, входящего в состав бесконтактного узла крепления.

Магнитная подвеска (бесконтактные узлы крепления) известна применительно к рельсовому транспорту [8, с. 267].

Более того, известны подобные узлы крепления предметов относительно сооружения, но не с целью борьбы с шумом [10]. Особой известностью во всем мусульманском мире пользуется легенда о парящем гробе пророка. Основатель ислама пророк Мухаммед был захоронен в железном гробу. В усыпальнице пророка находится якобы особый камень, который и держит в парящем состоянии железный гроб. Точнее говоря, сила магнитного притяжения должна быть такой, чтобы ее хватило приподнять гроб над полом, и было недостаточно, чтобы притянуть железный ящик с прахом к потолку, в котором спрятан магнит.

В конструкции могут быть использованы любые виды звукопоглощающих материалов из известных. Звукоизолирующая панель с максимально возможной звукоизолирующей способностью является сегодня наиболее эффективным средством звукоизоляции.

Перспективы использования подобного средства звукоизоляции в качестве реверберационной камеры (не только с «плавающим полом», но и с «плавающими стенами» и «плавающим потолком») описаны в [4].

Литература

- 1. Боголепов И.И., Рыбакова Е.В. Звукоизолирующий элемент. Авторское свидетельство СССР N 1270251, кл. Е 04 В 1/82, 1986. Бюл. № 42.
- 2. Абракитов В.Э. Аналоговое моделирование при решении задач борьбы с шумом. Дисс.... канд. техн. наук. Днепропетровск, 1995.- 157 с.
- 3. Боголепов И.И. Вакуумные звукоизолирующие конструкции // Инженерно-строительный журнал. СПб.: ГОУ «СПбГПУ». № 1, 2008. С. 22-29.
- 4. Абракітов В.Е. Багаторазові відбиття звуку в акустичних розрахунках. Монографія. Харків: ХНАМГ, 2007. 416 с.
- 5. Патент № 2083775 (Россия). Звукоизолирующая панель с максимально возможной звукоизолирующей способностью / Абракитов В.Э. МПК⁶ Е04В 1/82. Опубл. 10.07.97. М.: Изобретения (Заявки и патенты): Официальный бюллетень, 1997, №19. Доступ в сети Интернет: http://sibpatent.ru/patent.asp?nPubl=2083775&sort=2&flsob=%u0410%u0431%u0440%u0430%u043A%u0438%u0442%u043E%u0432.
- 6. Снижение шума на промышленных предприятиях // Ленинградский государственный проектный институт, М.: Стройиздат, 1972. с. 58.
- 7. Политехнический словарь // Гл. ред. Артаболевский И.И. М.: Сов. энцикл., 1977. с. 67–68.
- 8. Компанеец А.С. Законы статистической физики. Ударные волны. Сверхплотное вещество. М.: Наука, 1976. С. 84.
- 9. Кухлинг Х. Справочник по физике. М.: Мир, 1985. С. 204.
- 10. Мезенцев В. Чудеса. Популярная энциклопедия. Алма-Ата: Главная редакция казахской советской энциклопедии, 1990. С. 8-10, т. 2.

Владимир Эдуардович Абракитов, г. Харьков, Украина Эл. почта: abrakitov@rambler.ru

Реконструкция крыш Санкт-Петербурга на основе легких стальных тонкостенных конструкций и антиобледенительной системы

Д.т.н., профессор Н.И. Ватин; аспирант В.В. Володин; студент Е.А. Золотарева; студент К.В. Петров*, ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет; Исполнительный директор Е.Н. Жмарин, ООО «БалтПрофиль»

Нынешняя зима запомнится не только аномальными снегопадами, но еще и массовыми протечками крыш и многочисленными жертвами сосулек, длина которых больше метра отнюдь не редкость. По данным Агентства медико-социальной информации, всего за три дня с 26 по 28 февраля от упавших сосулек и снега в Петербурге пострадали 56 человек [1]. Глыбы льда падают прямо на середину тротуара, подвергая как прохожих, так и жителей домов большой опасности. Чтобы очистить крышу от снега и наледи, нужно перекрыть часть тротуара, а чтобы люди не попали под машину, обходя это место, перекрыть и часть дороги. А это уже необходимо согласовывать с ГИБДД, что требует длительного времени. Кровельщики за свою работу получают всего 15-30 рублей за квадратный метр кровли, что влечет пренебрежение средствами личной безопасности ради ускорения рабочего процесса. Борцы с сосульками нередко срываются вниз, чему в немалой степени способствует и техническое состояние петербургских крыш.

В России главным способом борьбы с обледенением является ручное механическое удаление наледи и сосулек с помощью лопат, ломов и других шанцевых инструментов. Скалывание льда с кровель и козырьков, покрытых тонким кровельным железом, влечет за собой неизбежное повреждение крыш и, как следствие, многочисленные протечки, возникает необходимость в постоянном привлечении значительных средств на ремонт.

Из общей площади петербургских кровель, которая, по данным Жилищного комитета, превышает на сегодняшний день 24 миллиона квадратных метров, более половины находится в неудовлетворительном состоянии. При этом в историческом центре города площадь крыш превышает 8 миллионов квадратных метров. Если в спальных районах неблагополучное состояние кровли отражается прежде всего на потребительских качествах домов, то в центральных районах к этому добавляется еще и декоративно-эстетический аспект.

Согласно требованиям «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений», вступающего в силу 1 июля 2010 г., повышенное внимание уделяется именно надёжности и безопасности крыш, которые являются одним из важнейших наружных ограждений зданий [2]. Внедрение кровельных материалов, удовлетворяющих требованиям эксплуатации зданий и сооружений, а также защита кровли от наледи – основные задачи реформы жилищно-коммунального хозяйства.

В настоящее время минимальная продолжительность эффективной эксплуатации жилых домов до постановки на капитальный ремонт определена нормативными документами сроком в 15-20 лет. Между тем, продолжительность эксплуатации до капитального ремонта покрытий крыш из оцинкованной стали составляет 15 лет, из черной стали — 10 лет, кровель на основе битумно-рубероидных материалов — 10 лет. На практике мягкие кровли приходится капитально ремонтировать 1 раз в 6-8 лет из-за низкого качества и несоответствия современным требованиям к кровельным покрытиям. Таким образом, до момента постановки дома на капитальный ремонт приходится проводить как минимум 3 капитальных ремонта кровель на основе битумно-рубероидных материалов. Кроме мягкой, в ряде районов города есть и шиферная кровля, площадь которой составляет 551,5 тыс. м². Продолжительность эксплуатации конструкций с шиферными покрытиями до постановки на капитальный ремонт определена сроком в 30 лет.

Ненадежность применяемых покрытий и невысокие сроки эксплуатации петербургских кровель порождают развитие новых строительных технологий. Достойным вариантом на сегодняшний день является применение каркаса из легких стальных конструкций (ЛСТК) в комплексе с изобретениями в области устройства антиобледенительных систем.

Защита кровли от наледи стала одной из основных задач по эксплуатации кровельных покрытий.

Ученые из Государственного океанографического института Росгидромета (ГОИН) предложили следующий способ предотвратить образование на крышах сосулек и наледи: необходимо лишь несколько доработать конструкцию крыши. Они изучили механизм образования льда на скатных крышах и выяснили, что снег на крышах тает даже в самую холодную погоду из-за тепла, проникающего с чердака, и от солнечной

Ватин Н.И., Володин В.В., Золотарева Е.А., Петров К.В., Жмарин Е.Н. Реконструкция крыш Санкт-Петербурга на основе легких стальных тонкостенных конструкций и антиобледенительной системы

радиации. Вода стекает к краю крыши (свесу), где, контактируя с холодной поверхностью, обдуваемой воздухом, замерзает и образует ледяную кайму.

Здесь лед постепенно накапливается, образуется наледь и из нее начинают «прорастать» сосульки [3].

Способствует образованию льда и конструкция водосточных труб: изгиб трубы у карниза неизбежно приводит к образованию ледяной пробки. Талая вода начинает течь поверх водосточных труб, образуя мощные сосульки. И сколь бы тщательно эксплуатирующие организации не относились к выполнению своих обязанностей, несчастные случаи неизбежны. Ведь конструктивные недоработки в обеспечении безопасности конструкции особыми условиями эксплуатации компенсировать невозможно.

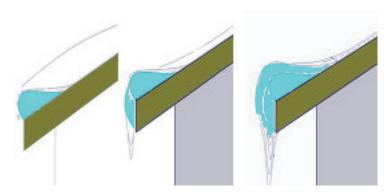


Рисунок 1. Схема образования наледи и сосулек

Специалисты ГОИН сформулировали три основных направления предотвращения образования сосулек: не дать талой воде попасть на холодный край крыши, снизить интенсивность таяния снега на основной плоскости кровли, снизить массу снега, который может накапливаться на свесах кровли.

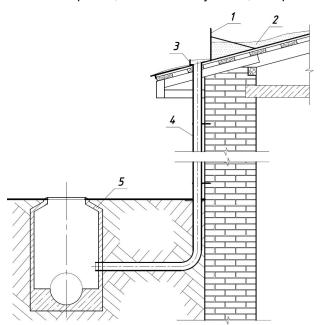


Рисунок 2. Предложенное конструктивное решение отвода талых вод:

- 1) защитное ограждение;
 - 2) снежный покров;
- 3) водосточный желоб;
- 4) водосточная труба;
- 5) колодец городской сети водостока.

Предложенная технология предусматривает конструктивную доработку крыши: чтобы вода не попала на край кровли, водосточная труба должна «встретить» ее раньше, не обходя выступ карниза, а проходя сквозь него. В этом случае талые воды будут сразу же стекать вниз по водосточной трубе, не попадая на свесы. Если водосточная труба будет установлена вертикально на стене, пронизывая все выступающие конструктивные элементы, до системы подземного водостока, то время отвода воды будет сведено к минимуму, что снизит вероятность ее замерзания [3].

Водосточные желоба нужно устанавливать вдоль теплой зоны поверхности крыши, а водосточные трубы, пронизывающие карниз, должны быть прижаты к теплой стене здания. Оптимальным вариантом является случай, когда водосточные трубы уходят прямо в систему городского водостока, чтобы исключить замерзание в них талых вод, а также образование луж и наледи на тротуарах. Однако не везде есть такая возможность ввиду отсутствия существующей системы ливневой канализации [3].

Эффективность предлагаемого метода подтверждена экспериментальной эксплуатацией переоборудованной крыши одного из зданий в центре Москвы. В результате эксперимента каких-либо проблем с наледью и сосульками не отмечено, а чистка кровли не потребовалась.

Нами предлагается использование в данной конструкции каркаса из легких стальных тонкостенных профилей (ЛСТК). Антиобледенительные установки, аналогичные приведенным выше, с использованием такого каркаса в течение многих лет успешно применяются в Европе и США.

Являясь открытой системой, концепция строительства из ЛСТК может применяться как самостоятельно, так и в сочетании с другими конструкциями (например, перекрытия и стропильная система из легких стальных профилей в быстровозводимых зданиях и сооружениях). Строительство при помощи ЛСТК широко практикуется во многих странах. Наиболее активны в этой области Швеция, США, Австралия, Финляндия, Дания, Голландия, Франция, Япония, Канада, Корея и др. В России эффективность предлагаемого метода подтверждена экспериментальной эксплуатацией переоборудованной крыши одного из зданий в центре Москвы. В результате эксперимента каких-либо проблем с наледью и сосульками не отмечено, а чистка кровли не потребовалась.

Способ возведения зданий с использованием легких стальных тонкостенных конструкций стал реальной альтернативой традиционным методам общественного и жилищного строительства. Он позволяет значительно снизить материальные, трудовые и стоимостные показатели при массовом строительстве, сохраняя высокие качественные и эксплуатационные характеристики.

В настоящее время российский строительный комплекс освоил производство металлических профилей и технологию ЛСТК, которая может использоваться в любых элементах современных зданий. При реконструкции и капитальном ремонте жесткой кровли с заменой стропильных конструкций главным вопросом, особенно в историческом центре и районах старой застройки, является вес конструкций. Эксплуатируемые дома уже изношены: коррозия, климат, естественное старение. При надстройке очень важно «не перегрузить» их. Поэтому при реконструкции используются только легкие негорючие материалы, соответствующие всем санитарным нормам.

При реконструкции могут использоваться несколько технологий:

- каркас из черного металла;
- каркас из тонкостенных легких оцинкованных профилей;
- каркас из массива дерева;
- каркас из клееного бруса.

Применение черного металла в качестве каркаса влечет за собой промерзание конструкций и разрушение внутренней отделки. Необходимы крановая грузоподъемная техника, газорезательное и сварочное оборудование, приводящее к перегрузке электросетей ремонтируемого здания.

Каркас из массива дерева подвержен гниению, изменению геометрии вследствие усушки и подвержен воздействию насекомых, но является одним из самых дешевых вариантов. Обеспечение требуемых параметров огнестойкости невозможно при использовании дерева в конструкциях стропил и обрешетки. Для обеспечения требуемого времени огнестойкости необходимо пропитывать ограждающие деревянные конструкции антипиреном, который требует периодического возобновления. Возобновлять огнезащитные покрытия дерева внутри конструкции кровли без ее разборки не представляется возможным.

В местах контакта с деревом крепеж (даже оцинкованный) подвергается ускоренной коррозии из-за активной конденсации влаги в этом узле, вследствие разницы в теплоемкости и теплопроводности дерева и металла, что существенно снижает долговечность конструкции. Поэтому оптимальное решение варианта из деревянного массива — каркас из клееного бруса. Однако его стоимость превышает на 30-50% аналогичный каркас из ЛСТК.

Основные преимущества применения ЛСТК в реконструкции кровель:

- ЛСТК благодаря своим конструктивным особенностям решают главную проблему реконструкции старых зданий снижение нагрузок, разрушающих стены;
- жесткая кровля с каркасом из ЛСТК имеет срок службы от 30 лет;
- конструктивные решения ЛСТК позволяют реализовывать «утепленные» и «холодные» варианты кровельного покрытия;
- антиобледенительные системы и устройства оптимально интегрируются с конструкциями ЛСТК;
- благодаря легкости элементов можно отказаться от тяжелой крановой техники, вести монтаж вручную, не причиняя жильцам никаких неудобств при реконструкции;
- отсутствие «мокрых» процессов позволяет вести работы круглый год;
- все работы проводятся без использования сварочного и газорезательного оборудования (что особенно важно на зданиях старого фонда из-за их повышенной огнеопасности).

Расчет экономической эффективности

Расчет экономической эффективности реконструкции существующих кровель на жесткую кровлю с каркасом из ЛСТК проводился на примере комплекса зданий Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов площадью 15 900 м². Смета на капитальный ремонт кровли с применением стропильных систем из горячекатаных профилей была сделана предприятием «Спецпроект Реставрация» в 1998 году и является архивным документом. Смета на реконструкцию кровли с заменой каркаса на ЛСТК и устройством антиобледенительной системы выполнена в первом квартале 2010 года с помощью программно-вычислительного комплекса «Сметный калькулятор В.З.1». Для анализа и сравнения двух смет, все цены в них были приведены к общему порядку с помощью переходных коэффициентов и индексов-дефляторов. Основные данные сметных расчетов приведены в таблицах 1, 2.

Сравнительный анализ экономической эффективности показал, что стоимость капитального ремонта жесткой кровли со стропильной системой из горячекатаных профилей и ее эксплуатации в течение 30 лет составит 5 220 руб/м², а аналогичной кровли с ЛСТК с антиобледенительным устройством 3 790 руб/м², что на Ватин Н.И., Володин В.В., Золотарева Е.А., Петров К.В., Жмарин Е.Н. Реконструкция крыш Санкт-Петербурга на основе легких стальных тонкостенных конструкций и антиобледенительной системы

27,5% дешевле и исключает какую-либо чистку кровли и образование наледи на прилегающих к зданию территориях.

Таблица 1. Данные сметного расчета на капитальный ремонт кровли (1998 г.)

Nº	Наимен	Общая стоимость, руб.	
Разде	ел 1. Капитальный ремонт		
1	Разборка кровли из кровельной стали		716,0
2	Разборка покрытий выступающих частей стен	61,0	
3	Разборка обрешетки и стропильной системы		1 729,0
4	Смена покрытий разжелобков		606,0
5	Воссоздание утраченных металлических карка	асов и металлических стропильных систем	553,0
6	Рихтовка элементов металлической обрешетк	и (придание необходимой формы)	14,0
7	Разборка водосточных труб		118,0
8	Навеска прямых звеньев водосточных труб		5 870,0
9	Воссоздание деструктированных участков мет	аллических стропильных систем	971,0
10	Расчистка поверхности каркаса от коррозии и	окраса	13 596,0
11	Рядовое покрытие крыш кровеольной оцинков	анной сталью	49 020,0
12	Покрытие выступающих частей кровельной ст	алью (ширина 0,8м)	2 247,0
13	Смена покрытий настенных желобов и свесов		2 587,0
14	Герметизация лежачих и стоячих фальцев		7 535,0
15	Монтаж стропильной системы из металла		1 651,0
16	Двутавр 50		19 428,22
17	Монтаж обрешетки из уголков		1 047,0
18	Уголок 44*40		5 305,52
19	Грунтовка поверхности металлоконструкций		764.0
	руптовка поворжности мотазанскопотрукции	Зарплата	3 824 517
		Машины и механизмы	83 529
	Итого прямые затраты по разделу в ценах 2010 г.	Материалы	9 301 116
	20101.	Зарплата	6 047 518
	К=1.1 на работы по экспл памятников,		132 080
	К=1.15 на стесненность, к=1.25 на работу на	Машины и механизмы	
	высоте	Материалы	9 301 116
	Накладные расходы 120%•0,94		6 821 600
	Сметная прибыль 55%		3 326 135
	Итоги по разделу 1:		25 628 449
Разде	ел 2. Эксплуатация сроком в 30 лет		
20	Текущая эксплуатация кровли на 30 лет		18 000 000
		Зарплата	15 000 000
	Итого прямые затраты по разделу в ценах 2010г.	Машины и механизмы	0
	20101.	Материалы	3 000 000
	Накладные расходы 120%•0,94		16 920 000
	Сметная прибыль 55%		8 250 000
	Итоги по разделу 2:	43 170 000	
	Итого по смете с непредвиденными расход 1,2%:		
	Итого на 1 квадратный метр кровли за 30 л	5 219	
	итого па т квадратный метр кровли за 30 л	CI D LICHAN ZUIVI	J 2 13

Таблица 2. Данные сметного расчета на реконструкцию кровли с использованием каркаса из ЛСТК и антиобледенительной системы (2010 г.)

Nº	Наимен	Общая стоимость, руб	
Раз	дел 1. Демонтажные работы		T
1	Разборка кровли из кровельной стали		15 950,9
2	Разборка покрытий выступающих частей стен		943,0
3	Разборка обрешетки и стропильной системы		40 247,7
4	Разборка водосточных труб		2 217,9
		54 718	
Иτо	го прямые затраты по разделу в ценах 2001г.	Машины и механизмы	4 670
		Материалы	0
		Зарплата	567 428
Ито	го прямые затраты по разделу в ценах 2010г.	Машины и механизмы	31 863
		Материалы	0
Нак	ладные расходы 120%•0,94 (ФОТ)		640 058
	етная прибыль 55% (ФОТ)		312 085
	оги по разделу 1:		1 551 434
	дел 2. Металлоконструкции, кровля		1001 404
- a 3	Монтаж каркасов зданий: рамных коробчатог	о селения	452 603,8
<u>)</u> 3	Стоимость металлоконструкций системы Бал		16 695 000
7	Монтаж кровельного покрытия из: профилиро		247 545,5
3	Металлочерепица оцинкованная, размером 1	·	2 311 376,6
))	Ветрозащитная плёнка	100004000,00	216 769,5
10	Ветрозащитный подкровельный и стеновой м	изтериал	111 904,2
11	Покрытие выступающих частей кровельной с		83 210,7
12	Ограждение кровель перилами	64 176,9	
13	Масляная окраска металлических поверхнос	18 163,49	
14	Укладка ходовых досок	3 849,5	
15	Установка чердачных окон	2405,3	
16	<u> </u>		22334,06
10	Скобяные изделия для оконных блоков со с	22334,00	
17	жилых зданий двустворных (независимо от в		60,92
18	Остекление оконным стеклом окон: с одинар		1122,77
19	Улучшенная окраска масляными составами г	по дереву: заполнений проемов оконных	1295,89
20	Зашивка фанерой		438,71
21	Плиты древесностружечные многослойные и	трёхслойные марки П-1 толщиной 15-17 мм	377,44
22	Фанера строительная из утолщенного шпона	марки ФК, толщиной 8; 9,5 мм	823,64
23	Устройство по фермам настила: рабочего свеса)	толщиной 40 мм сплошного (по периметру	279 151,0
		Зарплата	233 092
Иτα	го прямые затраты по разделу в ценах	Машины и механизмы	254 168
200		Материалы	20 024 973
		Зарплата	2 417 163
/T0	1того прямые затраты по разделу в ценах		1 734 185
201		Материалы	33 957 580
		Зарплата	3 822 139
√ _1	.1 на работы по экспл памятников, К=1.15 на	Машины и механизмы	2 742 180
	сненность, к=1.25 на работу на высоте	Материалы	33 957 580
	ладные расходы 120%•0,94 (ФОТ)	4 311 373	
	етная прибыль 55% (ФОТ)		2 102 176
	оги по разделу 2:		46 935 449

Ватин Н.И., Володин В.В., Золотарева Е.А., Петров К.В., Жмарин Е.Н. Реконструкция крыш Санкт-Петербурга на основе легких стальных тонкостенных конструкций и антиобледенительной системы

Раздел 3. Устройство антиобледенительной	системы	
24 Устройство желоба по периметру		110 778,8
25 Пробивка отверстий в карнизе (под водост	очные трубы)	1 580,4
26 Навеска прямых звеньев водосточных тру	б	42 851,0
	Зарплата	233 092
Итого прямые затраты по разделу в ценах	Машины и механизмы	254 168
2001r.	Материалы	20 024 973
	Зарплата	2 417 163
Итого прямые затраты по разделу в ценах	Машины и механизмы	1 734 185
2010г. Материалы		33 957 580
	Зарплата	3 822 139
K=1.1 на работы по экспл памятников, K=1.15	Машины и механизмы	2 742 180
на стесненность, к=1.25 на работу на высоте	33 957 580	
Накладные расходы 120%•0,94 (ФОТ)		317 072
Сметная прибыль 55% (ФОТ)		154 601
Итоги по разделу 3:	1 495 382	
•	дами 1%, НДС 18% и зимним удорожанием	60 283 690
Итого на 1 квадратный метр кровли за 30 ле	3 791	

Таким образом, предложенный вариант реконструкции кровли представляется экономически эффективным. Сочетание антиобледенительной системы с современными технологиями лёгких стальных тонкостенных конструкций дает не только решение проблемы сосулек, но и в целом гарантию длительной и надежной эксплуатации кровли.

Литература

- 1. Агентство медико-социальной информации. Оперативная информация // http://www.saphia.ru.
- 2. Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. N 384-Ф3 Технический регламент о безопасности зданий и сооружений // http://www.rg.ru/2009/12/31/tehreg-zdaniya-dok.html.
- 3. Палей А.А. Обустройство крыши без наледи и сосулек // http://oceanography.ru/content/blogcategory/0/66/.
- 4. Жмарин Е.Н. Технология будущего строительство облегчённых зданий и сооружений с применением термопрофилей и лёгких балок // Стройпрофиль, 2004, №5(35). С.83.
- 5. Рыбаков В.А., Гамаюнова О.С. Влияние перфорации стенки на несущую способность термопрофилей // Стройпрофиль, 2008, № 1(63). С. 128-130.
- 6. Легкие стальные тонкостенные конструкции в Санкт-Петербурге // Инженерно-строительный журнал, №5, 2009. Спб, 2009.
- 7. ВСН 58-88(р) «Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения».
- 8. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Межгосударственный стандарт.

* Клим Валерьевич Петров, Санкт-Петербург

Тел. моб.: +7(921)311-88-09; эл. почта: petrovklim@gmail.com

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 <u>удостоверение</u> 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 использованием <u>AutoCAD</u>	С	8 дней	7000
Проектирование строительных конструкций использованием <u>SCAD Office</u>	С	8 дней	12000
Проектирование зданий и сооружений использованием <u>Allplan</u>	С	2 недели	7000
Планирование и управление строительным проектами с использованием <u>MS Project</u>	u	5 дней	7000

Контакты

