www.engstroy.spb.ru

# Инженерно-строительный журнал

научно-прикладное издание

ISSN 2071-4726

№2 ноябрь 2008

СОБЫТИЯ

ТЕХНОЛОГИИ

КОНСТРУКЦИИ

ОРГАНИЗАЦИЯ

РАСЧЕТЫ

МЕТОДЫ

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

# Отделение повышения квалификации и профессиональной переподготовки

## Курсы повышения квалификации

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

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

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

## Курсы профессиональной подготовки

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

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

## Контакты

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

Инженерно-строительный журнал
научно-прикладное издание

ISSN 2071-4726

Специализированный научный журнал

Периодичность: ежемесячно

**Учредитель и издатель:**

ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

**Адрес редакции:**

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

**Главный редактор:**

В.М. Якубсон

**Редакционная коллегия:**

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

При перепечатке ссылка на издание обязательна

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

Отпечатано в типографии «Цифровой типографский центр СПбГПУ»

Установочный тираж 800 экз.

**Контакты:**

Тел. 535-79-92

E-mail engstroy@inbox.ru

Http://www.engstroy.spb.ru

# Содержание

СОБЫТИЯ

Вентилируемые фасады и другие 2
Первый опыт: высотное строительство в Санкт-Петербурге 4

РАСЧЕТЫ

В.Н. Бухарцев, М.Р. Петриченко. Гидравлическая форма условия экстремума диссипации мощности для безнапорных потоков в призматических руслах 5
А.И. Снегирев, А.И. Альхименко. Влияние температуры замыкания при возведении на напряжения в несущих конструкциях 8
Д.В. Петросов, В.Д. Кузнецов. Особенности расчета и монтажа зданий с неполным каркасом 17

ТЕХНОЛОГИИ

И.А. Войлоков, А.И. Альхименко. Особенности технологии изготовления фибробетонных бесшовных плит 27
Г.Я. Булатов, А.Ю. Костюкова. Новая технология – «фундамент на трубогрунте» 32

МАТЕРИАЛЫ

Почему мы выбираем монолитный пенобетон в качестве утеплителя? 38

МЕТОДЫ

С.Г. Никольский. Экспресс-метод контроля эрозии бетона 39
И.И. Боголепов. Современные способы борьбы с шумом в зданиях и на селитебных территориях 45

КОНСТРУКЦИИ

М.В. Кнатько, М.Н. Ефименко, А.С. Горшков. К вопросу о долговечности и энергоэффективности современных ограждающих стеновых конструкций жилых, административных и производственных зданий 50

ОРГАНИЗАЦИЯ

В.З. Величкин, В.М. Махонин. Экономический эффект при повышении уровня разработки и реализации проекта строительства АЭС 54

# Вентилируемые фасады и другие

**Дискуссия**

22 октября 2008 г. ОАО «Петербургский строительный центр» проводил семинар «Ограждающие конструкции многоэтажных зданий (в том числе высотных)». Основным вопросом семинара было снижение себестоимости строительства. Сейчас эта проблема волнует многих, и потому зал был переполнен. Строители, проектировщики приходили не просто послушать докладчиков, но обсудить проблемы современного строительства. Все доклады сопровождались вопросами из зала, начинались даже импровизированные дискуссии.

В докладах были представлены разные взгляды на проблему ограждающих конструкций: с точки зрения долговечности, энергоэффективности, экономичности и т.п.

В целом выступления можно разделить на две группы. К первой относится оценка существующего положения вещей с различных позиций. Ко второй – предложения новых конструктивных решений для ограждающих конструкций.

Сергей Александрович Старцев, генеральный директор компании «БиоспейсСтрой», посвятил свой доклад вопросу долговечности ограждающих конструкций. Основная проблема здесь – нарушение горизонтальной и вертикальной гидроизоляции фасадов. Источник ее – так называемый капиллярный подсос. Традиционное средство борьбы с ним – противокапиллярная отсечка, т.е. инъекция гидрофобных растворов. Но, как показывает практика, этот метод далеко не безопасен. Например, через 25 лет после выполнения такой отсечки кафедральный собор в Никосии (Сицилия) треснул вплоть до купола. Это произошло из-за того, что прочность цементного раствора, которым заполняли шпуры, оказалась значительно выше прочности ослабевшей кирпичной кладки собора. При динамических нагрузках эти квазиметаллические стержни просто разрушили кладку. В нашей стране капиллярную отсечку выполняют около 10 лет. Очевидно, необходимо следить за тем, чтобы прочностные характеристики раствора не сильно отличались от соответствующих характеристик кладки.

Более универсальным средством борьбы с этим явлением являются листы из нержавеющей стали в швах между кирпичами. Это обеспечивает горизонтальную отсечку, но необходима также вертикальная – в швах между кирпичами, находящимися под горизонтальной отсечкой.

Наиболее проблемной является ситуация со зданиями исторической застройки. Как правило, изначально внешняя гидроизоляция в них отсутствует полностью. Практически все подвалы исторической части города необходимо осушать, причем эту проблему нужно решать поквартально.

Другая проблема городских построек – высолы на фасадах. Соль, используемая для обработки дорожного полотна, попадает в щели зданий, и затем выступает на фасадах, ухудшая внешний вид и разрушая кирпичную кладку.

Чердаки, как и подвалы, являются проблемной частью домов старого фонда. Необходимо обеспечивать эффективную вентиляцию холодных чердаков. Поднятие края кровли на «кобылках» предотвратит гниение конструкций и образование наледи, которые возникают из-за разности температурно-влажностного режима снаружи и внутри чердака.

В части долговечности современных фасадов С.А. Старцев выделил две проблемы. Первая – швы между панелями в панельных домах. Со временем они приобретают весьма неэстетичный вид. Основным решением является выполнение нащельников, одна часть которых крепится к одной панели, вторая – к соседней.

Другая проблема связана с новыми нормами по тепловой защите зданий и активным использованием теплоизоляционных материалов. Обязательно нужно обеспечивать вентиляцию утеплителя, иначе он просто начинает гнить, и ни о какой теплоизоляции уже речи не идет.

Александр Сергеевич Горшков, руководитель лаборатории технологических исследований ООО «НТЦ Технологии XXI века», уделил основное внимание как раз вопросам энергоэффективности современных ограждающих конструкций. Принятие новых норм по тепловой защите зданий (см. например, СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий») привело к вытеснению с рынка ограждающих конструкций традиционных материалов: силикатного и керамического кирпича, керамзита и даже бревна и бруса в загородном домостроении. На смену им пришла система вентилируемых фасадов, в которой активно используются теплоизоляционные материалы, в основном пенополистирол или минеральная вата.

При использовании вентилируемых фасадов теплоизоляционные характеристики, закладываемые проектировщиком, чаще всего, значительно выше нормативных. Тем не менее, данные, полученные при

испытании подобным конструкций, принципиально отличны от проектных. Дело в том, что в расчете, например, не учитывается «быстрое» тепло, поступающее через металлические включения.

Кроме того, использование теплоизоляции решает только проблему теплопотерь через стены, а теплоэффективность окон практически не изменилась. При этом известно, что 24% тепла уходит именно в районе окон.

Также отсутствие инженерии приводит к проблемам с рекуперацией. В итоге в таких домах жители постоянно держат форточки открытыми и «отапливают улицу».

30-40% тепла уходит через трансмиссионные потери, которые также никак не изменились с применением новых фасадных систем.

Таким образом, по мнению А.С. Горшкова, показатели энергоэффективности и тепловой защиты современных зданий с вентилируемыми фасадами значительно ниже проектных. Кроме того, не решен вопрос долговечности таких фасадов. На данный момент срок службы экструдированного пенополистирола оценивают в 10 лет, минеральной ваты – 15 лет, а эти материалы, как уже было отмечено, чаще всего применяются в качестве теплоизоляторов в фасадных системах с воздушным зазором. В Европе таким системам дают срок службы 25 лет, но при выполнении целого ряда условий, основным из которых является качественный монтаж. Из опыта использования вентилируемых фасадов в России следует, что утеплитель намокает уже на стадии монтажа (например, в дождь) или затем, уже в конструкции, за счет неплотности швов или отсутствия необходимого зазора.

**А.С. Горшков и Н.И. Ватин**

Статью А.С. Горшкова "К вопросу о долговечности и энергоэффективности современных ограждающих стеновых конструкций жилых, административных и производственных зданий" см. на стр. 50.

Николай Иванович Ватин, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ТОЭС Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, выступал с докладом «Ограждающие конструкции "нулевой" толщины для многоэтажных каркасных зданий». Основной целью данной технологии является экономия квадратных метров за счет уменьшения толщины поэтажно опираемой части конструкции. Причем возможно не только уменьшение ее в два раза – от стены «в кирпич» до стены «в полкирпича» - но и сведение толщины к нулю. Для этого используется термопанель – конструкция, основанная на использовании термопрофиля и эффективного утеплителя.

В докладе были приведены расчеты, подтверждающие теплоустойчивость, отсутствие конденсации влаги в таких конструкциях, а также конструктивное обоснование стены. Подробнее см.: Д.В. Кузьменко, Н.И. Ватин. Ограждающие конструкции «нулевой» толщины для многоэтажных каркасных зданий // Инженерно-строительный журнал, №1, 2008. С. 13-21.

Сергей Аркадьевич Гагин и Евгений Владимирович Спорышев из компаний ГК UNIS и ООО «Русол» предложили свою альтернативу вентфасадам. Это использование системы наружной теплоизоляции «мокрого типа»: теплоизолятор (пенополистирол, минеральная вата, стекловата), армирующий слой и декоративная отделка. Преимуществами этого вида ограждающих конструкций являются экономия средств и возможность уменьшения толщины стен.

Заключением семинара стал доклад Юрия Германовича Барабанщикова, к.т.н., доцента кафедры СКИМ Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. В докладе анализировалось влияние вентилируемого воздушного зазора на параметры тепло-влажностного режима стены. Анализ проводился на примере защитного экрана для оболочки градирни. Конструкция такого экрана из натянутой стеклоткани была разработана и исследована в ГОУ СПбГПУ.

Общим итогом семинара можно считать понимание того, что система вентилируемых фасадов – не панацея от проблем современного строительства. Она имеет множество недостатков, с которыми необходимо бороться. Кроме того, существуют и альтернативные варианты ограждающих конструкций, которые могут сократить себестоимость строительства.

***Вера Якубсон***

# Первый опыт: высотное строительство в Санкт-Петербурге

06.11.2008 студенты и сотрудники кафедры ТОЭС инженерно-строительного факультета ГОУ СПбГПУ посетили строительную площадку 35-тиэтажного жилого комплекса на проспекте Обуховской обороны. Объект этот уникален тем, что станет одним из первых высотных жилых зданий в Санкт-Петербурге. Его высота составит 108 м до парапета.

**Разработка котлована**

Представители заказчика-застройщика провели для нас экскурсию по стройке. Сейчас объект находится на стадии разработки котлована. Котлован отделен от окружающего рельефа стеной в грунте, а от протекающей в 5 метрах речки Мурзинки – двумя шпунтовыми ограждениями. Уровень реки на несколько метров выше уровня котлована, при этом дно его абсолютно сухое. Это обеспечивается глинистым дном реки, грамотным выполнением ограждения котлована, а также системой дренажа и водоотведения.

Участок застройки очень ограниченный и одновременно сложный: кроме упомянутой речки Мурзинки, неподалеку от котлована проходит газопровод под высоким давлением, а прямо за стеной в грунте находится автозаправка. Застройщикам приходится в особом порядке следить за безопасностью строительства.

Поскольку это высотный дом, здание является объектом повышенной опасности. Поэтому при строительстве особое внимание будет уделено именно безопасности. Речь идет, во-первых, о постоянном мониторинге строительства. Необходимость такого мониторинга заложена в законодательство о высотном домостроении, тем не менее, соответствующей технологии для Санкт-Петербурга пока не существует. Заказчику-застройщику пришлось заказать в одном из московских проектных институтов разработку такого регламента. Во-вторых, в новом доме планируется использование автоматизированной системы контроля сетей и систем. В высотном домостроении это необходимая мера: например, должна быть возможность дистанционного управления инженерными сетями, поскольку при возникновении какой-либо аварии соответствующий специалист будет просто слишком долго добираться до источника проблемы. То же самое касается и системы охраны, так как подобные здания также представляют повышенную террористическую опасность.

На данный момент на объекте выполняется плитно-свайный фундамент. Используются буронабивные сваи с извлекаемой оболочкой общим количеством 267. Сваи забиваются на глубину 28 метров, на которой проходит Московская морена, которая достаточно однородна и, по результатам проведенных расчетов, а также реальных испытаний несущей способности грунта, удовлетворяет всем необходимым требованиям.

После заливки группы свай (осуществляется снизу, используется автобетононасос) вокруг них выбирается грунт на глубину около метра. Верх сваи разбивается, т.к. прочностные характеристики бетона в верхней части сваи ниже расчетных. Также это делается для того, чтобы выпустить арматуру для связки с плитой.

**Свайное поле**

Тем не менее, процесс выбора грунта между сваями очень трудоемкий и осуществляется практически вручную. Это порождает вопрос о целесообразности такой технологии: арматурный каркас можно просто не заливать до конца, а разное качество бетона в верхней и нижней части сваи вызывает у специалистов сомнения.

При осмотре стройки одновременно можно было наблюдать несколько различных процессов: выбор грунта в одной части котлована, бурение и заливку свай в другой и уход за бетоном в той части, где уже залита плита.

Проводивший экскурсию Владимир Александрович Пучков, руководитель службы заказчика, подчеркнул, что тщательная подготовка и выполнение ПОС и ППР необходимы для качественного и быстрого строительства такого сложного объекта. Статью В.А. Пучкова об особенностях организации высотного строительства в Санкт-Петербурге см. в следующем номере журнала.

***Вера Якубсон***

# Гидравлическая форма условия экстремума диссипации мощности для безнапорных потоков в призматических руслах

***Д.т.н., профессор ГОУ СПбГПУ В.Н. Бухарцев*,***
***д.т.н., профессор ГОУ СПбГПУ М.Р. Петриченко***

Пусть, по аналогии с «медленными» движениями вязкой жидкости, справедливо эвристическое предположение:

$$h_f \to \mathrm{extr}_{\pm},\ Q = \mathrm{fix}, \qquad (1)$$

либо

$$Q \to \mathrm{extr}_{\mp},\ h_f = \mathrm{fix}. \qquad (1_1)$$

Здесь $\mathrm{extr}_{\pm}$ обозначает, например, min (max). Тогда $\mathrm{extr}_{\mp}$ обозначает max (min). Иначе, предполагается, что ***в действительном движении с фиксированным расходом потери напора не больше (не меньше), чем в любом виртуальном движении; или, при фиксированных потерях напора расход в действительном потоке не меньше (не больше), чем в любом виртуальном***. Виртуальность потоков понимается как их кинематическая совместимость. Например, набор (Q, m, n, i, b, $h^{'}$) = idem в действительном и в любом допустимом движении, но при этом в действительном движении потери напора $h_f$ минимальны (максимальны). Либо, в двойственной формулировке, ($h_f$, m, n, i, b, $h^{'}$) = idem в действительном и в любом допустимом движении, но при этом в действительном движении расход Q максимален (минимален). Здесь $h^{'}$ означает начальное (в сечении x=0) значение глубины потока. Но, если набор (Q, m, n, i, b $h^{'}$) задан, глубины потока (однозначно) определяются как решение «уравнения неравномерного движения». Будет доказано, что экстремальная формулировка (1) или ($1_1$) совпадает с традиционной постановкой в классе движений с медленным изменением гидравлических характеристик вдоль потока.

## *1. Необходимое условие экстремума*

Пусть p, q, r, s, t – обозначения Монжа для частных производных $h_f$:

$$p := \frac{\partial h_f}{\partial x}, \quad q := \frac{\partial h_f}{\partial h}, \quad r := \frac{\partial^2 h_f}{\partial x^2}, \quad s := \frac{\partial^2 h_f}{\partial x \partial h}, \quad t := \frac{\partial^2 h_f}{\partial h^2}.$$

В этих обозначениях из уравнения неравномерного движения следует

$$i_f = \frac{p + iNq}{1 + Nq}, \qquad N := \frac{dh}{d\text{Э}}. \qquad (2)$$

Действительно, вдоль потока $i_f = p + \frac{dh}{dx} q = p + Nq(i - i_f)$. Остается исключить уклон трения $i_f$.

Вместо изопериметрических задач (1) можно поставить задачу на экстремум потерь напора на всем множестве $X \times H$ допустимых значений продольной координаты и глубин потока:

$$\int_{(X)} dx \int_{(H)} dh \frac{p + iNq}{1 + Nq} \to \mathrm{extr}_{\pm}, \qquad (3)$$

с плотностью лагранжиана $\Lambda(p, q) := \frac{p + iNq}{1 + Nq}$.

Уравнение Лагранжа имеет вид:

$$N(1 + Nq)s + N(i - p)(Nt + N_1 q) - \frac{N_1}{2}(i - p)(1 + Nq) = 0, \quad N_1 := \frac{dN}{dh}. \qquad (4)$$

Уравнение (4) допускает решение:

$$h_f = ix + Э' - Э, \qquad (5)$$

Т.е. интеграл Бернулли является интегралом (4). Предположив, что условие (3) имеет место, получаем интеграл Бернулли (5). Иначе, условие (5) необходимо для предположения (3) о минимуме диссипации: ***для движений (потоков), обладающих условием экстремума потерь напора (3), выполняется интеграл Бернулли (5).*** Или наличие экстремума потерь напора свидетельствует о существовании интеграла энергии (5). Поэтому и движения (потоки), удовлетворяющие условию (1) или ($1_1$) обладают интегралом Бернулли (5).

Пример. Вдоль характеристики уравнение (4) имеет вид:

$$(i - p)\left(N^2 \frac{dq}{dh} + \frac{1}{2} N N_1 q - \frac{N_1}{2}\right) = 0, \ (4_1)$$

откуда:

1) либо $i = p, \quad Nq + 1 = 0$,

2) либо $q = -\frac{1}{N} + \frac{C}{\sqrt{N}}, \quad p = i_f - qN(i - i_f) = (1 + Nq)i_f - qNi = i - C\sqrt{N}(i - i_f)$,

C – постоянная интегрирования.

Тогда:

$$h_f = ix - C\int_0^x \sqrt{N}(i - i_f)d\xi + C\int_{h'}^{h} \frac{d\eta}{\sqrt{N(\eta)}} - \int_{h'}^{h} \frac{d\eta}{N(\eta)} = ix - Э + Э' + C\int_0^x \sqrt{N}\left[dЭ(\xi) - (i - i_f)d\xi\right],$$

где греческими буквами обозначены переменные интегрирования. Ввиду произвольности x и N, получается, что или C=0, или $dЭ-(i-i_f)dx=0$.

## *2. Достаточность интеграла Бернулли для каноничности уравнения неравномерного движения*

Пусть выполняется (5). Оказывается, что существование интеграла (5) приводит к условию, равносильному (1), ($1_1$), (3).

Интеграл (5) в виде $Э-ix+h_f=E=const$, можно рассматривать как функцию Гамильтона E(x, h) для векторного поля

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial E}{\partial h}, \quad \frac{dh}{dt} = -\frac{\partial E}{\partial x}, \ (6)$$

или, произведя дифференцирование, получим:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{N} + q, \frac{dx}{dt} = i - p. \ (6_1)$$

Значит, $\frac{dh}{dx} = N\frac{i - p}{1 + Nq}$. ($6_2$)

Уравнение ($6_2$) равносильно традиционному уравнению неравномерного движения:

$$\frac{dh}{dx} = N(i - i_f). \ (6_3)$$

Действительно, $p = i_f - q\frac{dh}{dx}$. Остается исключить из ($6_2$) уклон свободной поверхности.

Получается, что интеграл Бернулли (5) **порождает** каноническую систему (6, $6_1$). Содержание пунктов 1 и 2 следует нашей заметке [1].

## 3. Условие экстремума, связанное с системой ($6_1$)

Эта каноническая система связана с некоторым условием экстремума для первообразной функции (или «главной» функции по Гамильтону) $F(T,x)=\int_0^T \sup_{(h)}\left(h\frac{dx}{dt}-E\right)dt$. Выясним смысл этого условия [2].

Функция F(t, x) удовлетворяет уравнению переноса:

$$\frac{\partial F}{\partial t}+Э\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)-ix+\int_0^x i_f d\xi=0,\quad h:=\frac{\partial F}{\partial x}. \quad (7)$$

Покажем, что уравнение (7) непротиворечиво: решения уравнения (7) совпадают с известными решениями, доставляемыми традиционной теорией. Ясно, что (7) – «замаскированная» запись интеграла Бернулли, если отделить переменные и положить: $\frac{\partial F}{\partial t}=-Э'$, $Э'$ – значение удельной энергии в сечении x=0. Продифференцируем (7) по x вдоль свободной поверхности h=h(x):

$$\frac{1}{N}\frac{dh}{dx}-i+i_f=0, \quad (8)$$

Уравнение (8) равносильно ($6_3$), что и требовалось доказать. Далее, легко проверяется:

$$L:=h\dot{x}-E=h\frac{dЭ}{dh}-Э'. \quad (9)$$

Значит, в действительном движении $\int_{h'}^{h''}\frac{hN^{-1}-Э'}{i-i_f}dh\to extr_{\pm}$. (10)

И далее, пусть $F(0)=\left(\frac{dF}{dx}\right)_{x=0}-h'=0$. Тогда:

$$F(x)=\int_0^x(x-\xi)N(i-i_f)d\xi=\int_0^x(x-\xi)\frac{dh}{d\xi}d\xi+xh'=\int_0^x h(\xi)d\xi\to extr_{\pm}. \quad (10_1)$$

Условие (10) означает, что в действительном движении *площадь криволинейной трапеции, образованной вертикалями $\xi$=0, $\xi$=x, прямолинейной образующей дна и кривой свободной поверхности не больше (или не меньше), чем в любом допустимом движении, для любого конечного участка потока.* Можно показать, что *площадь трапеции минимальна у кривых подпора и максимальна у кривых спада.*

Итак, существование интеграла Бернулли для движений (потоков) означает, что такие движения обладают экстремальными свойствами по расходу и по потерям напора. Иначе говоря, *интеграл Бернулли для целого потока – критерий того, что действительное движение обладает свойствами минимума потерь напора при заданном расходе, или, что при фиксированном перепаде уровней воды действительное движение (поток) обладает максимальным расходом.* Такой результат для диссипативной системы (потока) кажется необычным. Действительно, если бы система (поток) была консервативной, то каноничность уравнений движения порождается интегралом энергии и обратно, интеграл энергии для консервативных систем с неизменяемыми (склерономными) связями прямо получается как двойственная лагранжиану функция, [2]. К счастью, гидравлическая традиция рассматривает потерю напора как позиционную функцию (или как функцию координаты потока x). Поэтому потеря напора фигурирует как (формально) консервативная составляющая интеграла энергии – такая же, например, как z(x), с одним только ограничением: $h_f(x)>0$.

**Литература:**


1. Бухарцев В.Н., Петриченко М.Р. Экстремальные свойства потоков, В сборнике: «Механика и процессы управления», УНЦ РАН, Миасс, 2006, с. 79…84.
2. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики, Ч.2, М., Наука, 1966, 332 с.



**Владимир Николаевич Бухарцев, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

*Тел. раб. 297-59-54, 297-59-88, эл. почта gts.bu@cef.spbstu.ru*

# Влияние температуры замыкания при возведении на напряжения в несущих конструкциях

***Инженер ГОУ СПбГПУ А.И. Снегирев*,***
***д.т.н., профессор, декан ИСФ ГОУ СПбГПУ А.И. Альхименко***

В современных условиях потребность в зданиях и инженерных сооружениях различного назначения постоянно возрастает. Весьма востребованными оказываются монолитные сооружения. При этом бетон и железобетон остаются основными материалами жилищно-культурного, промышленного, энергетического, дорожно-транспортного, сельскохозяйственного и других видов строительства.

Железобетон представляет собой строительный материал, в котором выгодно сочетается совместная работа бетона и стали.

Идея сочетания в железобетоне этих двух крайне отличающихся механическими свойствами материалов базируются на следующем. Бетон, как и всякий каменный материал, хорошо сопротивляется сжимающим нагрузкам, но слабо противодействует растягивающим напряжениям: прочность бетона при растяжении примерно в 10-15 раз меньше прочности при сжатии.

Для создания более комфортных условий для проживания в ряде случаев используются экологически чистые материалы, таких как, например, кирпич. Благодаря применению в качестве материала наружных несущих стен кирпича появляется возможность в достаточно значительной степени повысить экологичность будущего жилья. При этом мы имеем дело с рядом других факторов, которые свидетельствуют как о конструктивной целесообразности, так и об экономической эффективности при строительстве. Конструктивно появляется возможность уйти от использования в качестве наружного вертикального несущего элемента колонн, тем самым обеспечивается возможность получить внутреннюю поверхность стен без выступов. Это приводит к увеличению полезной площади и возможности более свободной планировки. Как следствие, строительная компания при той же площади застройки получает увеличение площади жилого здания.

Вопросы расчета зданий и сооружений на температурные воздействия рассматривали такие ученые, как Н.Н. Пантелеев, А.Л. Свинарчук, В.В. Кажарский, Н.В. Новицкий, В.Л. Береснев, Г.В. Несветаев, И.А. Зинов, Л.Н. Белобородова, Н.А. Сложеникина, М.И. Зборовская, Э. Ямб, в том числе и профессор ГОУ СПбГПУ В.Д. Кузнецов. В кандидатской диссертации А.Л. Свинарчука акцент сделан на проектирование самонесущих стен из каменной кладки с учетом температурного перепада от воздействия солнечной радиации. Несколькими годами ранее И.А. Зинов в кандидатской диссертации обратил внимание на проблему стойкости и деформаций высокопрочного бетона при циклических температурных воздействиях.

СНиП 2.03.04-84 не учитывает в полной мере температурные воздействия на возводимое здание. Основной задачей приведенного нормативного документа является формулировка методики расчета зданий только в условиях высоких температур. Нашей задачей было совершенствование методики расчета на основе установленных новых закономерностей. Это позволило разработать рекомендации по данному методу расчета и учесть влияние знакопеременных температурных воздействий на железобетонный каркас многоэтажного здания в процессе его строительства, учитывающее технологию строительства.

Температурные воздействия на строительные конструкции могут иметь самое разнообразное происхождение, но чаще всего рассматриваются климатические температурные воздействия и технологические температурные воздействия.

Нагрев или охлаждение конструктивного элемента создает в нем некоторое температурное поле, которое представляет собой функцию координат рассматриваемой точки. Это поле в поперечном сечении удобно представлять в виде четырех составляющих [9]:

1) средней температуры t, равномерно распределенной по сечению, создающей общее удлинение/укорочение элемента, которому соответствует продольная сила N;
2) температуры, меняющейся по линейному закону относительно оси z, имеющей в пределах сечения перепад температур и искривляющей стержень, причем роль соответствующей ей обобщенной силы играет момент Mz;
3) то же, но относительно оси y, с моментом My;
4) нелинейного самоуравновешенного «остатка».

К температурным воздействиям, используемым в прочностных расчетах, относятся только первые три компоненты, поскольку самоуравновешенное поле температур вызывает в стержне лишь бимоменты высоких порядков, которые обычно не учитываются.

При определении поля температур обычно используется упрощение о том, что это поле не зависит от напряженно-деформированного состояния конструкции, хотя в отдельных случаях это предположение может и не выполняться, поскольку теплопроводность некоторых материалов зависит от их напряженного состояния.

Конструкции, напряженное и деформированное состояние которых определяется главным образом осевыми температурными деформациями элементов (например, каркас здания), рассчитываются на Δt – изменение во времени средней по сечению температуры конструкции по отношению к начальной температуре $t_0$.

Конструкции, в которых, кроме того, важна оценка напряжений и деформаций, возникающих вследствие неравномерного распределения температуры по сечению (например, стены здания), в ряде случаев рассчитываются на *u* – перепад температуры по сечению.

Для определения Δt и *u* устанавливаются два неблагоприятных значения средних температур конструкций и перепадов температуры по сечению в наиболее теплый (июль) и наиболее холодный (январь) месяцы года, а также начальная температура $t_0$.

## *Температура замыкания*

Температурные усилия возникают только в статически неопределимых конструкциях. Для систем с одной лишней связью эти усилия возникают после превращения конструкции в статически неопределимую (после замыкания системы), которое реализуется при некоторой температуре $t_0$ (температуре замыкания системы). Тогда температурные воздействия, возникающие после замыкания конструкций, определяются разностью между экстремальными температурами воздуха и температурой замыкания:

$$\begin{cases} \Delta t_+ = t_{\max} - t_0 \\ \Delta t_- = t_{\min} - t_0 \end{cases} \qquad (1)$$

Однако большинство конструкций относится к системам с несколькими лишними связями, замыкание которых распределяется по времени. Для конструкций этого типа не существует температуры замыкания, выраженной каким-либо одним числом, которой соответствовали бы нулевые начальные усилия. Уже в процессе монтажа возникают температурные деформации и усилия, зависящие как от температурных условий, так и от последовательности монтажа.

Характерный пример рассмотрен в работе [1], где приведены результаты расчетов усилий, возникающих при монтаже регулярной многопролетной рамы в предположении, что сборка производится в направлении слева направо с постоянной скоростью, так, что моменты замыкания отдельных пролетов разделены равными интервалами времени.

На рис. 1 показаны эпюры моментов в стойках рамы и значения $N_{max}$, максимального по пролетам усилия в ригеле, который считается бесконечно жестким. Как видно, усилия меняются достаточно сложным образом, что связано с изменением расчетной схемы сооружения во времени, изменениями знаков моментов, а также с тем, что максимальные моменты не обязательно возникают в крайних колоннах.

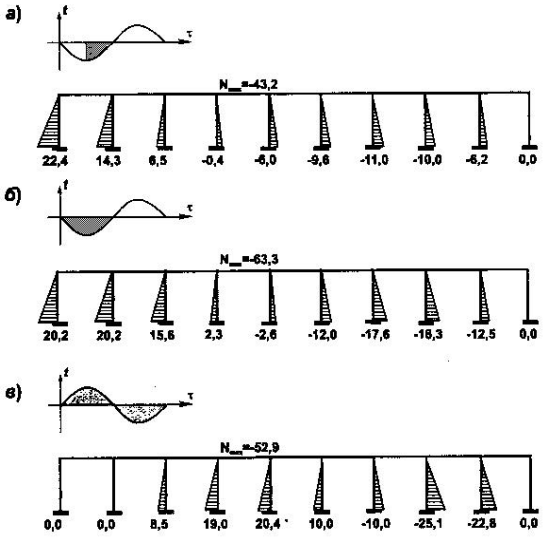



**Рисунок 1. Начальные усилия, возникающие при окончании замыкания рамы в апреле при длительности монтажа 3, 6, 12 месяцев**

Поскольку начальные усилия, возникающие в процессе монтажа, имеют обычно меньшие значения, чем температурные усилия после полного замыкания системы, и поскольку при многоступенчатом процессе замыкания происходит сглаживание кратковременных всплесков температуры, то допустимо приближенно принимать в качестве температуры замыкания некоторое значение, являющееся средним за период строительства. На стадии проектирования сооружения фактическая продолжительность возведения и условия его замыкания обычно неизвестны, поэтому в качестве средней температуры конца замыкания часто принимают среднегодовую температуру.

В СНиП 2.01.07-85* используется предположение, что можно пренебречь колебаниями температуры с суточным периодом и колебаниями среднесуточных температур.

Считая, что среднегодовая температура примерно равна полусумме температур января и июля, $t_I$ и $t_{VII}$, в [9] получены следующие температуры замыкания:

$$\begin{cases} t_0^T = \dfrac{t_{VII}+t_I}{2} + \dfrac{t_{VII}-t_I}{\pi} \approx 0{,}8t_{VII} + 0{,}2t_I \\ t_0^X = \dfrac{t_{VII}+t_I}{2} - \dfrac{t_{VII}-t_I}{\pi} \approx 0{,}2t_{VII} - 0{,}8t_I \end{cases} \qquad (2)$$

Так, для Санкт-Петербурга эти значения соответственно равны: $t_0^T = 12{,}68^\circ C, \quad t_0^X = 9{,}8^\circ C$.

В расчетах конструкций необходимо учитывать длительность действия временных температурных нагрузок, если продолжительность их действия достаточна для проявления влияния на прочностные и деформационные свойства материалов, на образование трещин и их раскрытие, на снижение долговечности конструкций. Так, расчет железобетонных и бетонных конструкций по прочности, по деформациям и по раскрытию трещин производится с учетом влияния длительного действия нагрузок. При этом усилия определяются с учетом неупругих деформаций бетона, арматуры и наличия трещин. Учет всех этих факторов обязателен при определении усилий, возникающих от изменения температуры.

Температурные климатические воздействия обусловлены изменениями температуры воздуха, в которых имеются вполне закономерные периодические колебания с годовым и суточным периодом. На периодические колебания накладываются случайные колебания, связанные с изменением погоды на небольших отрезках времени (несколько дней). Колебания температуры с суточным периодом и случайные погодные колебания можно отнести к кратковременным. Исключить их можно сглаживанием. Сглаженная функция изменения температуры воздуха с годовым периодом близка к гармоническому закону и в наиболее неблагоприятные периоды изменяется плавно. Заметная разница значений температуры в эти периоды ощущается в интервалах в два-три месяца. Этот интервал будет в дальнейшем учтен при постановке расчетных задач.

Сглаженная функция изменения температуры воздуха, построенная по многолетним среднемесячным данным, применяется в качестве длительного процесса в расчетах. Этот же принцип положен в основу редакции СНиП «Нагрузки и воздействия» [3].

Расчет конструкций выполнялся с помощью проектно-вычислительного комплекса SCAD.

При расчете конструкции на климатические температурные воздействия было произведено моделирование расчетных ситуаций, меняющихся в процессе возведения здания. Так были учтены сезонные перепады температур, и в качестве температур замыкания конструкций отдельных этажей принималось значение, вычисленное как среднее за три месяца строительства, при этом была задана скорость строительства – один этаж в месяц. Каждая модель отражает изменение в работе конструкций с шагом в три месяца, за исключением первой и последней моделей. Таким образом, были созданы пять расчетных задач, для которых назначены собственные полезные нагрузки, температурное воздействие, прочие нагрузки.

При моделировании была учтено технологическое исполнение перекрытий как сборных: каждая плита смоделирована отдельным конечным элементом и учтен шов между плитами.

Построение расчётной схемы осуществлялось с помощью алгоритмов комплекса SCAD Office. Среди особенностей расчётной схемы, помимо прочих, можно выделить следующие.

1. Присутствие в конструктивной схеме здания ядер диафрагм жёсткости.
2. Все задачи решались без учёта нелинейности.
3. При расчете не учитывалась анизотропность кирпичной кладки. Расчет жесткости кирпичной кладки произведен на основании СНиП [4].
4. Не учитывалась релаксация кирпичной кладки, то есть перераспределение напряжения в ней в результате ползучести и других физико-механических процессов.

К прочим можно отнести все пренебрежения и упрощения, присущие МКЭ и алгоритмам программы SCAD, являющиеся одинаковыми для любой подобной задачи.

В расчетной схеме применены следующие типовые элементы: стержни (10 – универсальный стержень с шестью степенями свободы), оболочки (42, 44 – с шестью степенями свободы), связи конечной жесткости (51), упругие связи (55) - согласно наименованиям, принятым в ПК SCAD.

В рамках данного исследования были произведены расчеты пяти схем на пространственное действие температурного воздействия (по всему полю стенового ограждения). В задачах исследуются внутренние усилия в наружных кирпичных стенах. Для удобства сравнения выбраны две стены, принципиально различающиеся по наличию оконных проемов, то есть с оконными проемами и «глухая» стена. При этом следует отметить, что сравнение наиболее показательно при изучении фрагментов схемы, расположенных в нижних этажах, так как они присутствуют во всех расчетных схемах.

Принцип построения расчетных схем заключается в предположении равномерной скорости возведения зданий. При этом начало строительство условно намечено на декабрь. Средняя скорость возведения одного этажа – 1 месяц.

## *Расчет температурного воздействия*

В данной задаче температурная нагрузка действует по всему полю. Таким образом, произведен расчет на пространственное действие температурного воздействия. При задании численных значений воздействия учитывались следующие факторы.

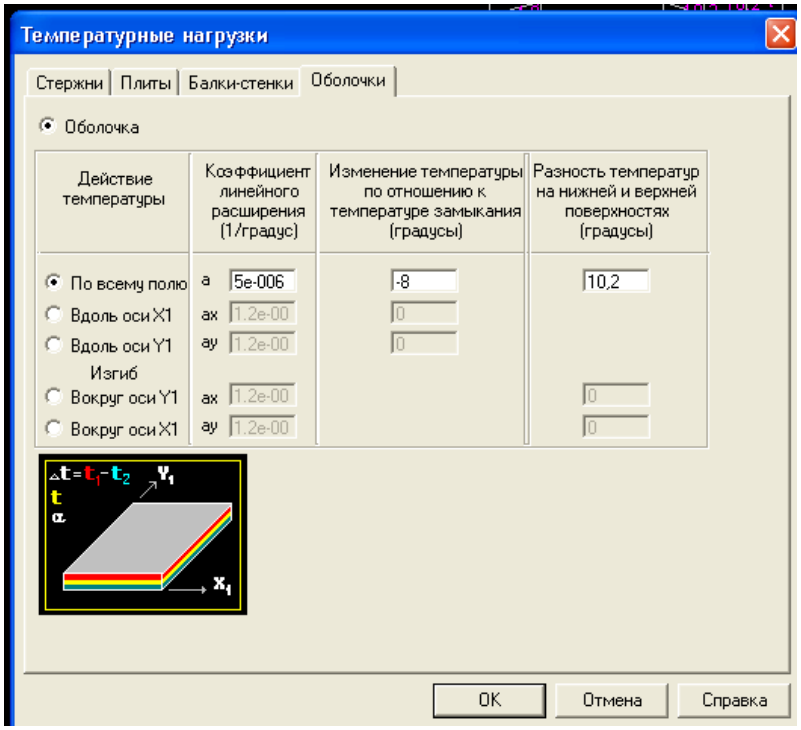
- Период возведения каждого из расчетных участков схемы. Расчетный участок – в общем случае 3 этажа здания. При этом за температуру замыкания участка принята средняя за период его возведения температура воздуха, принятая по СНиП.
- Коэффициент линейного расширения принят по нормативным данным и равен для кирпичной кладки $\alpha_t = 0{,}5 \cdot 10^{-5}\, град^{-1}$.
- За температуру расчета принята температура замыкания следующего участка. Данное допущение принято на основании скорости возведения и сезонного изменения температуры окружающей среды.

Значения заданных нагрузок приведены в табл. 1.

***Таблица 1. Значения температурных нагрузок, заданных в ПК SCAD для расчета конструкции***

| | Расчетное время | Температура замыкания | Разность температуры расчета и температуры в помещении | Разность температуры расчета и температуры замыкания | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | этажей 1-4 | этажей 5-7 | этажей 8-10 | этажей 11-13 | этажей 14-17 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| РЗ-1<br>4 этажа | Весна.<br>Апрель.<br>Температура апреля +3,1ºС | Температура замыкания этажей 1-3<br>январь<br>-7,8ºС | 0ºС | +10,9ºС | - | - | - | - |
| РЗ-2<br>7 этажей | Лето.<br>Июль.<br>Температура июля +17,8ºС | Температура замыкания этажей 4-6<br>апрель<br>+3,1ºС | 0ºС | +25,6ºС | +14,7ºС | - | - | - |
| РЗ-3<br>10<br>этажей | Осень.<br>Октябрь<br>Температура октября +4,9ºС | Температура замыкания этажей 7-9<br>июль<br>+17,8ºС | 0ºС | +12,7ºС | +1,8ºС | -12,9ºС | - | - |
| РЗ-4<br>13<br>этажей | Зима.<br>Январь<br>Температура января -7,8ºС | Температура замыкания этажей 10-12<br>октябрь<br>+4,9ºС | 0ºС | 0ºС | -10,9ºС | -25,6ºС | -12,7ºС | - |
| РЗ-5<br>17<br>этажей | Весна.<br>Май<br>Температура мая +9,8ºС | Температура замыкания этажей 13-16<br>февраль<br>-7,8ºС | +10,2ºС (температура в помещении +20 ºС) | +17,6ºС | +6,7ºС | -8,0ºС | +4,9ºС | +17,6ºС |

*2.а* *2.б*



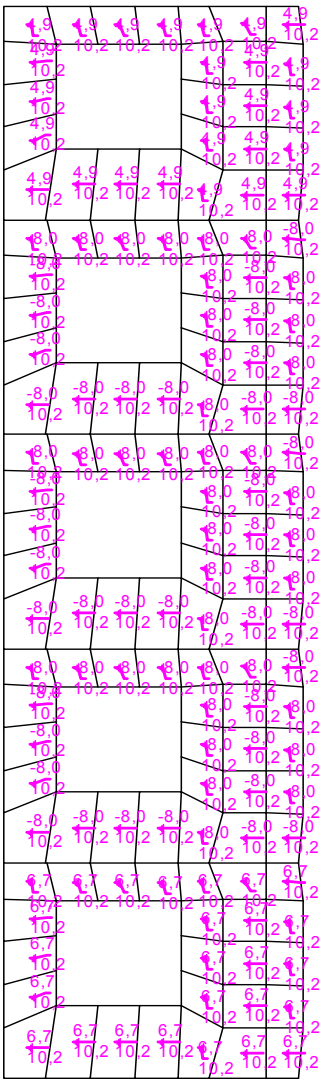



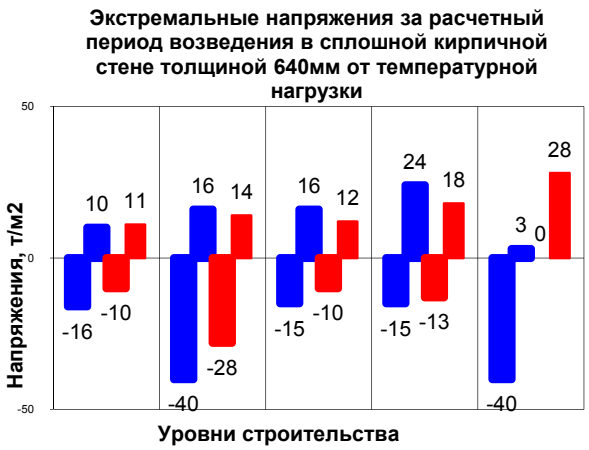
**Рисунок 2. Пример задания температурной нагрузки: 2.а – задание численных параметров, 2.б – отображение на расчетной схеме**

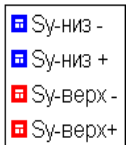
## *Влияние температурной нагрузки на общее напряженное состояние конструкции*

Для иллюстрации вклада температурного воздействия в общее напряженно-деформированное состояние конструкции выбрано отображение полей напряжений в исследуемых стенах. В табл. 2 представлены экстремальные значения напряжений в кирпичных стенах для каждой из принятых расчетных схем. Как видно из результатов, максимальные значения не всегда проявляются в расчетной схеме, соответствующей окончанию строительства. В некоторых случаях экстремумы имеют место и в середине строительства конструкции. Для более наглядного отображения результатов представлены графики (рис. 3, 4).

***Таблица 2. Максимальные напряжения в кирпичных стенах, вызванные температурным воздействием***

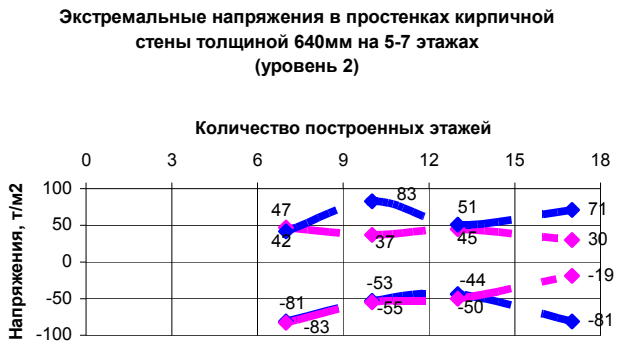
| | Значения напряжений, $T/м^2$ $\left(\frac{\text{минимальные}}{\text{максимальные}}\right)$ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Перфорированная стена толщиной 640мм | | | | Сплошная кирпичная стена толщиной 640мм | | | |
| | $S_{y-верх}$ | $S_{y-низ}$ | $S_{x-верх}$ | $S_{x-низ}$ | $S_{y-верх}$ | $S_{y-низ}$ | $S_{x-верх}$ | $S_{x-низ}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| РЗ-1 | -17 | -5 | -8 | -4 | -10 | -16 | -11 | -18 |
| 3 этажа | 8 | 12 | 7 | 6 | 11 | 10 | 9 | 16 |
| РЗ-2 | -11 | -12 | -6 | -14 | -28 | -40 | -17 | -12 |
| 6 этажей | 16 | 22 | 7 | 8 | 14 | 16 | 12 | 46 |
| РЗ-3 | -15 | -6 | -3 | -7 | -10 | -15 | -7 | -20 |
| 9 этажей | 23 | 9 | 5 | 7 | 12 | 16 | 10 | 12 |
| РЗ-4 | -4 | -12 | -4 | -9 | -13 | -15 | -7 | -15 |
| 12 этажей | 10 | 10 | 9 | 13 | 18 | 24 | 5 | 7 |
| РЗ-5 | -8 | -23 | -3 | -23 | 0 | -40 | 6 | -31 |
| 16 этажей | 27 | 3 | 20 | 2 | 28 | 3 | 21 | 6 |
| Экстремальные значения | -17 | -23 | -8 | -23 | -28 | -40 | -17 | -31 |
| | 27 | 22 | 20 | 13 | 28 | 24 | 21 | 46 |




***- отрицательные значения продольных напряжений на внутренней грани стены,***
***- положительные значения продольных напряжений на внутренней грани стены,***
***- отрицательные значения продольных напряжений на наружной грани стены,***
***- положительные значения продольных напряжений на наружной грани стены***

**Рисунок 3. Экстремальные напряжения за расчетный период возведения в кирпичных стенах толщиной 640мм на различных уровнях строительства от температурной нагрузки.**



Sy-низ - ***- значения продольных напряжений на внутренней грани стены,***

Sy-верх ***- значения продольных напряжений на внутренней грани стены***

***Рисунок 4. Экстремальные напряжения в зависимости от количества построенных этажей (учитывает динамику процесса)***

## *Вклад температурной нагрузки в общее напряженное состояние конструкции*

Для наглядности результатов ниже представлена таблица (табл. 3), отражающая количественное влияние температурного воздействия на общую картину напряженного состояния конструкции.

***Таблица 3. Доля напряжений, вызванных температурной нагрузкой, от суммарных напряжений при расчетной комбинации загружений***

| | **Доля напряжений, % ( $\frac{\text{минимальные}}{\text{максимальные}}$ )** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Перфорированная стена толщиной 640мм | | | | Сплошная кирпичная стена толщиной 640мм | | | |
| | $S_{y-верх}$ | $S_{y-низ}$ | $S_{x-верх}$ | $S_{x-низ}$ | $S_{y-верх}$ | $S_{y-низ}$ | $S_{x-верх}$ | $S_{x-низ}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | 12,14% | 19,49% | 4,15% | 14,94% | 18,06% | 33,61% | 4,53% | 6,75% |
| | 15,61% | 16,67% | 26,32% | 18,84% | 25,69% | 24,74% | 56,76% | 79,31% |
| **Экстремальные значения** | 15,61% | 19,49% | 26,32% | 18,84% | 25,69% | 33,61% | 56,76% | 79,31% |
| | | | | | | | | |

## *Анализ полученных результатов*

Полученные результаты показали, что в случае возведения зданий в сложных климатических условиях, при которых происходит регулярное изменение среднемесячных температур с переходом через отметку 0°С, обязательно вести проектирование и расчеты конструкций в строгом соответствии с проектом организации строительства (ПОС). В данных условиях становится возможным качественно построить расчетную схему с заданием сезонных температурных воздействий и вариациями моделей с делением на необходимое количество уровней по высоте, участков по длине и ширине.

Как следует из таблиц результатов, максимальные значения силовых факторов не обязательно соответствуют схеме, отвечающей полному окончанию строительства. Это вызвано, прежде всего, наличием локальных «прыжков» напряжений в пределах какого-либо уровня строительства при его возведении, которые впоследствии сглаживаются, но не всегда значительно. Так, максимальная растягивающая температурная нагрузка приходится на второй уровень из пяти для перфорированной стены и на четвертый для сплошной. При этом следует отметить, что максимальный перепад напряжений по сечению стены имеет место на последнем уровне строительства. Однако это обстоятельство в большей степени свидетельствует о необходимости учитывать релаксацию кирпичной кладки, что не было учтено в данном исследовании. Данные обстоятельства обязывают составлять расчетные схемы и выполнять расчет на различных стадиях готовности сооружения при оптимальном соблюдении технологии строительства и физических процессов.

Также установлено, что при расчете зданий с неполным каркасом на любые воздействия, необходимо качественно моделировать узел сопряжения перекрытий как с несущими наружными стенами, так и между собой и ригелями. Расчет количественных значений жесткостей элементов может быть выполнен по рекомендациям [2, 3].

Максимальный вклад температурной нагрузки в общее НДС конструкции составляет 25-30%. В связи с этим становится понятным полученное армирование кладки. Сортамент арматуры Вр-I не всегда способен обеспечить требуемое армирование (максимальный диаметр по сортаменту 5мм). При выборе прочих классов арматуры расчетное сопротивление существенно ниже в рамках решаемой проблемы. Поэтому наиболее рациональным способом перехвата напряжений может явиться введение специальных конструктивных элементов, например, монолитных поясов, воспринимающих значительную часть горизонтальных напряжений возникающих от температурного воздействия во время возведения здания и при его эксплуатации.

В настоящее время завершается строительство жилого комплекса на ул. Беринга, г. Санкт-Петербург. Архитектурный раздел проекта выполнен ООО «Архитектурная мастерская Арзиманова И.Б.», конструктивный раздел – ООО «Коллаж Студия». На данном объекте при расчете конструкций и проектировании были максимально учтены температурные нагрузки на несущие элементы здания с учетом результатов данного исследования и получено более точное напряженно-деформированное конструкции.

В области решаемой технической и научной задачи свои исследования и разработки ведут следующие российские организации, осуществляющие проектную, конструкторскую, внедренческую деятельность: ООО «Коллаж Студия», ПНИПКУ «Венчур», ООО «Строительный Трест», ООО «Архитектурная мастерская Арзиманова И.Б.».

**Литература**


1. Болотин В.В.. Статистические методы в строительной механике. М.: Стройиздат, 1965.
2. Дроздов П.Ф.. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. Учебное пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1977.-223с.
3. Пособие по расчету крупнопанельных зданий. Вып. 1. Характеристики жесткости стен, элементов и соединений крупнопанельных зданий. М.: Стройиздат, 1974.-40с.
4. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. М.: Госстрой СССР.
5. СНиП 2.03.04-84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. М.:Госстрой СССР.
6. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. М.:Госстрой СССР.
7. СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. М.: Госстрой СССР.
8. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. М.: Госстрой России.
9. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. М.: Госстрой СССР.
10. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / Под общей ред. А.В.Перельмутера. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006.-482с.



** Алексей Иванович Снегирев, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

*Тел. раб. 552-76-10*

*Эл. почта snegirevaleksey@mail.ru*

# Особенности расчета и монтажа зданий с неполным каркасом

***Инженер ГОУ СПбГПУ Д.В. Петросов*,***
***профессор ГОУ СПбГПУ, директор ООО «Коллаж студия» В.Д. Кузнецов***

В настоящее время в строительстве многоэтажных производственных и гражданских зданий и сооружений выявилась тенденция к увеличению этажности. Причинами этого являются бурный рост населения городов, стремление к экономии территории, сокращение протяженности городских коммуникаций (в том числе и транспорта) и прочее.

Конструктивной основной многоэтажного здания служит пространственная несущая система из стержневых и панельных железобетонных элементов, взаимосвязанных между собой в порядке, обеспечивающем прочность, устойчивость и долговечность системы в целом, а также ее отдельных элементов. Пространственная работа системы проявляется в том, что при загружении одного из ее элементов в работу включаются и другие элементы.

По конструктивной схеме многоэтажное здание разделяют на каркасные, бескаркасные (с несущими стенами) и с неполным каркасом, а по назначению на промышленные и гражданские.

Помимо строительства новых многоэтажных зданий, не стоит забывать, что в городских фондах жилищно-коммунальных хозяйств накопилось достаточно большое количество зданий средней этажности (до 4..5 этажей) старой постройки с наружными и внутренними несущими стенами из кирпича и междуэтажными перекрытиями и покрытиями по деревянным балкам. Такие перекрытия после длительного срока эксплуатации в большинстве случаев исчерпали ресурс по прочности и надежности, имеют большой физический износ, не удовлетворяют требованиям пожарной безопасности, потребительским качествам и подлежат демонтажу и замене, либо сносу здания. Последнее требует дополнительных затрат на демонтаж и утилизацию старых строений, перекладку инженерных сетей, коммуникаций и др., что вызывает рост себестоимости вновь возводимых площадей для потребителей. Вместе с тем, в силу сложившейся градостроительной ситуации и исторических традиций, отдельные здания могут иметь статус памятников архитектуры как историческая ценность и охраняются государством. Поэтому для сохранения таких зданий предпочтительным является их реконструкция без изменения внешнего облика с максимальным использованием существующих конструкций и применением новых, более надежных конструктивных решений, позволяющих при минимальной себестоимости обеспечивать современную планировку внутреннего пространства, удовлетворять требованиям действующих норм. В УП «Институт БелНИИС» разработано и апробировано на практике техническое решение по ремонту и модернизации зданий старой постройки, замене деревянных перекрытий и внутренних несущих стен и перегородок на встраиваемый в существующий объем неполный железобетонный каркас с плоскими сборно-монолитными дисками перекрытий из многопустотных плит.

За последние время темпы строительства в нашей стране увеличиваются из года в год, но несмотря на это, дефицит жилья сохраняется. Особенно остро эта проблема стоит в крупных городах. Население готово покупать квартиры даже по завышенным ценам. И пока предложение не начнет удовлетворять потребности населения в жилье, говорить о снижении стоимости квадратного метра не приходится.

Одним из способов решения этих проблем является строительство зданий с использованием неполного железобетонного каркаса, который позволяет:

1. Включать в общую или жилую площадь все пространство здания и проектировать дома коммерческого типа с большим выходом квартир.
2. Планировать комнаты любой площади, вплоть до 30 м$^2$.
3. Снизить расход материалов на строительство здания, что приводит также к снижению собственного веса конструкции, а следовательно, и расчетных значений при проектировании (например, фундамента). Это позволяет снизить стоимость квадратного метра.
4. Использовать резервы старого фонда путем реконструкции зданий без изменения их внешнего облика.

Монолитное строительство в России набирает обороты. Монолитный железобетон обладает более высокими конструктивными показателями, обеспечивающими жесткость конструкции для высотных зданий. Железобетонные конструкции широко используются в капитальном строительстве при воздействии температур не выше 50 $^0$С и не ниже 70 $^0$С. Во многих случаях конструкции из железобетона целесообразней каменных или стальных. К преимуществам каркасно-монолитного строительства относится как гибкость общих архитектурно-планировочных решений, так и возможность свободной планировки помещений. Каркасно-монолитное жилье может быть любой категории, от экономичной до элитной.

В крупных городах России каркасно-монолитное жилье давно стало привычным. Основу конструкции таких домов составляют колонны, несущие на себе монолитные перекрытия.

Современные требования к теплопередаче через наружные стены привели к тому, что полностью кирпичные наружные стены многоэтажных домов не строятся, так как требуемая толщина кирпичной кладки достигла бы на нижних этажах полутора метров. Каркасно-монолитный дом не имеет подобной проблемы, так как стену на каждом этаже несет плита перекрытия. Стена является «самонесущей» в пределах одного этажа, что избавляет ее от необходимости быть опорой для вышележащих этажей.

## *Основные несущие элементы зданий*

Конструктивной основной многоэтажного здания служит пространственная несущая система из стержневых и панельных железобетонных элементов, взаимосвязанных между собой в порядке, обеспечивающем прочность, устойчивость и долговечность системы в целом, а также ее отдельных элементов. Пространственная работа системы проявляется в том, что при загружении одного из ее элементов в работу включаются и другие элементы.

Каркас — несущая основа конструкции здания, сооружения или строительной детали, состоящая из сочетания линейных элементов. Наиболее прогрессивны в массовом строительстве по своей экономичности, долговечности, огнестойкости, расходу металла и условиям изготовления и возведения сборные железобетонные каркасы.

Жесткость узлов соединения сборных рамных каркасов достигается сваркой стальных закладных частей или замоноличиванием выпусков арматуры, сваренных между собой. В современном строительстве широко применяют конструктивную каркасную схему с полным каркасом и самонесущими или навесными стенами и с неполным каркасом и несущими стенами.

Сборный железобетонный каркас в гражданских зданиях состоит из одно- или двухэтажных стоек (колонн) и ригелей таврового или прямоугольного сечения. По высоте стойки соединяются сваркой стальных оголовков колонн между собой или сваркой концов арматурных стержней, выпущенных из тела стоек с последующим замоноличиванием стыка.

В зданиях с неполным каркасом наружные стены делают несущими, а колонны располагают лишь по внутренним осям здания. При этом ригели укладывают между колоннами, а иногда и между колоннами и наружными стенами (рис. 1б).

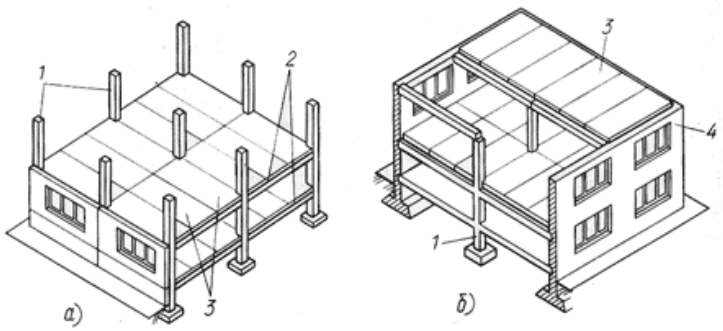



**Рисунок 1. Конструктивные схемы зданий: а – с полным каркасом, б – с неполным каркасом;1 – колонны, 2 – ригели, 3 – панели перекрытий, 4 – несущие наружные стены**

Здание любого типа должно быть не только достаточно прочным, не разрушаться от действия нагрузок, но и не опрокидываться при действии горизонтальных нагрузок, и иметь пространственную жесткость, т. е. способность как в целом, так в отдельных его частях сохранять первоначальную форму при действии приложенных сил.

Пространственная жесткость бескаркасных зданий обеспечивается несущими наружными и внутренними поперечными стенами, в том числе стенами лестничных клеток, связанными с наружными продольными стенами, а также междуэтажными перекрытиями, связывающими стены и разделяющими их по высоте здания на отдельные ярусы.

Пространственная жесткость каркасных зданий (рис. 2) обеспечивается:

1. совместной работой колонн, связанных между собой ригелями и перекрытиями и образующих геометрически неизменяемую систему;
2. установкой между колоннами стенок жесткости 1 или стальных вертикальных связей;
3. сопряжением стен лестничных клеток с конструкциями каркаса;
4. укладкой в междуэтажных перекрытиях (между колоннами) панелей-распорок 3.

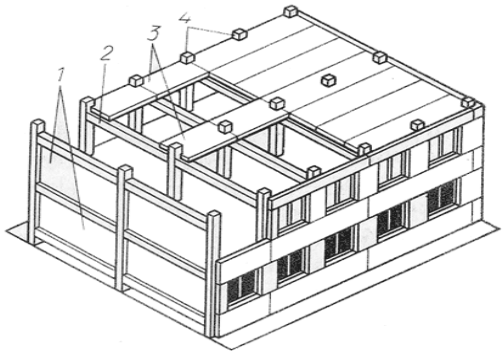



**Рисунок 2. Элементы, обеспечивающие пространственную жесткость каркасных зданий: 1 – стенки жесткости, 2 – ригели, 3 – панели-распорки, 4 – колонны**

Пространственная жесткость зданий с неполным каркасом (рис. 3) обеспечивается:

1. совместной работой колонн, связанных между собой ригелями и перекрытиями и образующих геометрически неизменяемую систему;
2. включением в работу несущих наружных стен;
3. сопряжением стен лестничных клеток с конструкциями каркаса;
4. укладкой в междуэтажных перекрытиях (между колоннами) панелей-распорок.

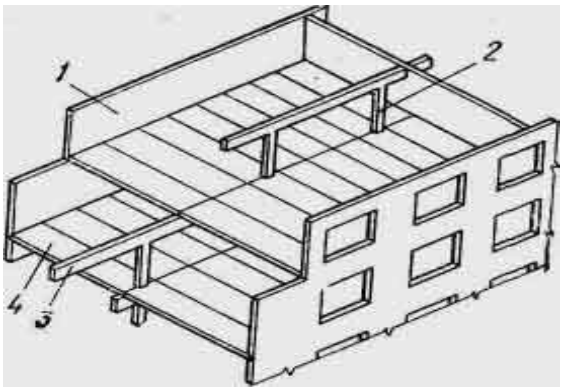



**Рисунок 3. Элементы, обеспечивающие пространственную жесткость зданий с неполным каркасом: 1-несущая стена; 2-внутренняя колонна; 3- ригель; 4 – перекрытие**

Конструктивные схемы зданий с неполным каркасом могут быть:

1) с продольным расположением ригелей;
2) с поперечным расположением ригелей;
3) безригельными.

В этих схемах несущие внутренние стены заменены колоннами и перегородками между ними, что уменьшает расход стеновых материалов. Нагрузки от ригелей и перекрытий воспринимаются также и наружными стенами.

Современный период массового жилищного строительства характеризуется тем, что, с одной стороны, впервые может осуществиться гибкая планировка квартир и блоксекций, с другой – гибкая технология изготовления индустриальных изделий жилых полносборных зданий.

Для решения гибкой планировки квартир и блоксекций наиболее целесообразно применение конструктивных систем с неполным каркасом и продольными несущими стенами. В системе, построенной на неполном каркасе (рис. 3), сохраняются крупнопанельная оболочка наружной стены с повышенными теплотехническими характеристиками, а также лестнично-лифтовые узлы. Из внутреннего пространства здания удаляются все стеновые панели, бывшие перегородочными и несущими. Вместо них появляется один или два ряда колонн, которые не мешают внутренней планировке. Плиты перекрытия, ранее опертые по контуру, опираются на одну сторону и две колонны или же на четыре колонны, в которых меняется армирование. Внутренние перегородки могут быть газосиликатные, гипсокартонные и любые другие, но желательно легкие, чтобы исключить перерасход металла.

Эта система позволяет включать в общую или жилую площадь все пространство здания и дает возможность проектировать дома коммерческого типа с большим выходом квартир. Проектировщики могут планировать комнаты любой площади вплоть до 30 м$^2$, эркеры, встроенные помещения различного назначения и т.д. Проведенные лабораторные и натурные испытания показали, что плиты с защемленными углами работают успешно.

## *Особенности монтажа зданий*

В зависимости от последовательности установки конструкций различают метод раздельного, или дифференцированного, монтажа и комплексный метод.

Обычная технология монтажных работ предусматривает размещение элементов сборных конструкций на приобъектном складе. При этом приходится дважды выполнять многие монтажные операции: первый раз, когда элементы выгружаются с транспортных средств на склад, и второй раз — при их монтаже. Более производительным является монтаж с транспортных средств («монтаж с колес»). При этом способе сборные элементы или готовые конструкции доставляют на стройку в строгой технологической последовательности, и они попадают на монтаж непосредственно с транспортных средств без разгрузки на склад. Весь комплекс работ по возведению каркаса здания осуществляется по часовым графикам, разработанным на каждую захватку и на каждую смену. Такая организация работ не только сокращает размеры приобъектных площадок и затраты на их оборудование и содержание, но и ускоряет и удешевляет монтажные работы в целом.

При повышении этажности значительно возрастают требования к точности монтажа. В основных несущих элементах таких домов предусматривают закладные детали-фиксаторы, исключающие возможность смещения монтируемых конструкций на большую величину, что указывается в проекте.

Конструктивная схема зданий повышенной этажности, возводимых без несущего каркаса, аналогична схеме обычных зданий с железобетонными внутренними поперечными несущими стенами-перегородками. Панели перекрытий — размером на комнату и панели внутренних стен — из тяжелого бетона

Дома высотой 14—16 этажей строят также каркасными с навесными панелями. Пространственная жесткость таких домов обеспечивается ригелями, устанавливаемыми на консоли колонн, а также продольными и поперечными сплошными железобетонными стенками, устанавливаемыми через 12—18 м. Колонны каркаса в таких домах, как правило, двухэтажные, стык их расположен выше уровня междуэтажного перекрытия, что создает удобство для монтажа колонн с помощью кондукторов и рамно-шарнирных индикаторов (РШИ), сварки и замоноличивания стыков. Ригели каркаса крепят к колоннам сваркой металлических связей и выпусков арматуры, заделываемых бетоном при замоноличивании стыков. Наружные керамзитобетонные навесные панели скрепляют между собой и с каркасом сваркой выпусков арматуры и закладных деталей, замоноличиваемых бетоном.

Каркасно-панельные здания повышенной этажности монтируют:

1) раздельным методом;
2) комплексным методом.

При раздельном методе сначала монтируют на высоту нескольких этажей, реже на всю высоту здания, несущий каркас, междуэтажные перекрытия и подаваемые краном внутрь здания элементы, а затем уже навесные панели наружных стен.

При комплексном методе соблюдается принцип поэтажного (поярусного) монтажа всех конструкций как несущих, так и ограждающих. Порядок монтажа, выверки и закрепления элементов предусматривается проектом производства работ. Независимо от принятого метода монтажа разрыв между монтажом каркаса и укладкой настилов перекрытий можно допускать не более трех этажей. При большем разрыве укладка железобетонных настилов осложняется возведенной сеткой каркаса, а сам каркас не будет иметь необходимой жесткости. В пределах каждого этажа (яруса) монтаж осуществляется по системе захваток. При этом только после окончательного проектного закрепления всех монтажных узлов и стыков каркаса предыдущего этажа (яруса) и достижения бетоном замоноличенных стыков несущих конструкций не менее 70% проектной прочности разрешается приступать к установке конструкций каркаса последующего этажа (яруса). До этого не разрешается снимать кондукторы и другие приспособления, временно закрепляющие конструкции. Этим обеспечивается жесткость и устойчивость конструкций в процессе монтажа.

## *Математические модели здания*

Построение расчётной схемы осуществлялось с помощью алгоритмов комплекса SCAD Office. Среди особенностей расчётной схемы, помимо прочих, можно выделить:

- присутствие в конструктивной схеме здания ядер и диафрагм жёсткости
- все задачи решались без учёта нелинейности

К прочим можно отнести все пренебрежения и упрощения, присущие МКЭ и алгоритмам программы SCAD, являющиеся одинаковыми для любой подобной задачи.

В расчетной схеме применены следующие типовые элементы: стержни (10 – универсальный стержень с шестью степенями свободы), оболочки (42, 44 – с шестью степенями свободы), связи конечной жесткости (51), упругие связи (55) – согласно наименованиям, принятым в ПК SCAD.

Математическая модель представляет собой 16-и этажное здание с неполным железобетонным каркасом. Высота этажа 3 метра. Наружные стены подвала и первого этажа выполнены из монолитного железобетона. Остальные наружные стены являются так же несущими и выполнены из кирпича марки 150 толщиной 640 мм. Перекрытия подвала и монолитное, толщиной 200мм. Перекрытия этажей выполнены из сборного железобетона толщиной 220мм.

Узел сопряжения сборных плит перекрытий и кирпичных стен представляет собой жесткую заделку.

На рис. 4 представлен общей вид расчетной модели. Численно-параметрические характеристики модели представлены в таблице 1.

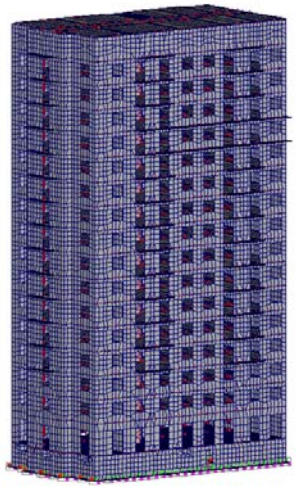


**Рисунок 4. Общий вид расчетной модели**

***Таблица 1. Численно-параметрические характеристики модели***

| **Параметр** | **Количество узлов** | **Количество элементов** | **Количество загружений** | **Линейный размер рядового конечного элемента** |
|---|---|---|---|---|
| Размерность | Ед. | Ед. | Ед. | м |
| Значение | 38791 | 41545 | 8 | 0,6 |

Математическая модель 2 является аналогичной модели 1 за исключением способа моделирования сборных плит перекрытия и узла сопряжения сборных плит перекрытия и кирпичных стен.

При моделировании было учтено технологическое исполнение перекрытий как сборных: каждая плита смоделирована отдельным конечным элементом и учтен шов между плитами. Марка бетона В20. Пример моделирования узла опирания двух плит на несущую наружную кирпичную стену показан на рисунке 5

**Рисунок 5. Моделирование сборных плит**

## *Моделирование узла сопряжения несущих стен и ригелей*

Ригель с колонной соединяются между собой посредством сваренных между собой закладных деталей. Соединительной деталью служат металлические пластины «рыбки» для восприятия момента 5.5т*м. В расчетной модели эти элементы смоделированы реальной жесткости.

Пустотные плиты перекрытия опираются на ригель, сжимающая нагрузка передается через шов раствора принятый в расчете 2см.

Жесткость шва между плитами перекрытия не учтена в запас прочности.

На рисунках 6, 7 представлен фрагмент расчетной модели.

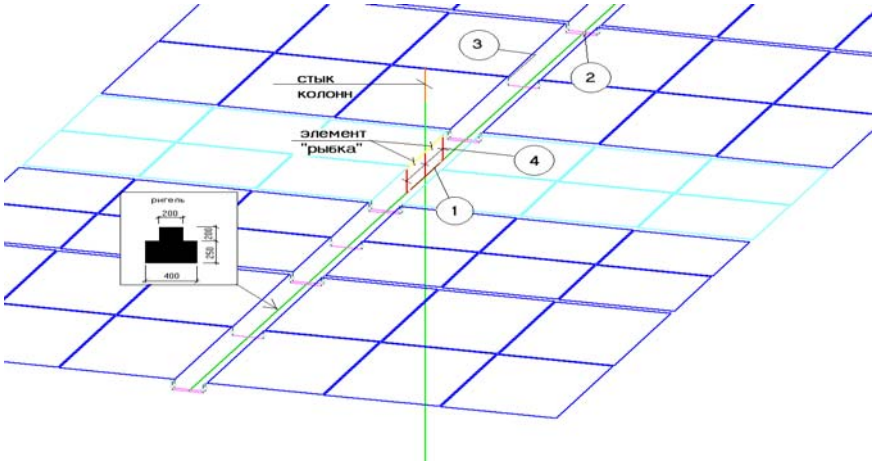



**Рисунок 6. Фрагмент расчетной модели. 1 – Тип жесткости 1 брус 15х40см (Е=2.7Е6т/м3) моделирует консоль колонны. 2 – Тип жесткости 2 брус 20х20см (Е=2.7Е9 т/м3) моделирует консоль ригеля. 3 – Тип жесткости 3 брус 40х8см (Е=11.75Е6 т/м3) моделирует жесткость шва опирания пустотных плит перекрытий на ригель. 4 – Тип жесткости 4 брус 40х40см(Е=2.7Е9 т/м3). Элемент «рыбка» 9х0.8см L=275мм (Е=2.1е7 т/м3).**

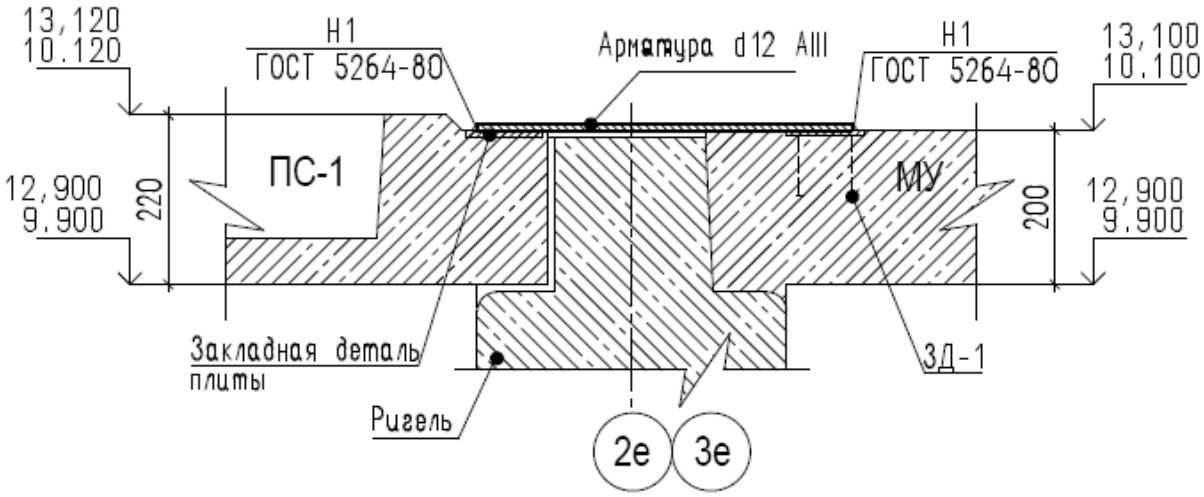



**Рисунок 7. Узел сопряжения сборной плиты, ригеля и монолитного участка**

## *Моделирование узла сопряжения несущих стен и перекрытия*

Случай, когда узел сопряжения сборной плиты и кирпичной стены моделируется как жесткая заделка перекрытия в стену, является не совсем адекватным реальному узлу. Чтобы максимально точно смоделировать такой узел в программном комплексе SCAD Office, мы используем гибкие вставки, которые по своим жесткостным характеристикам соответствуют арматурному стержню.

На рис. 8 представлен разработанный узел сопряжения несущих стен и перекрытия.

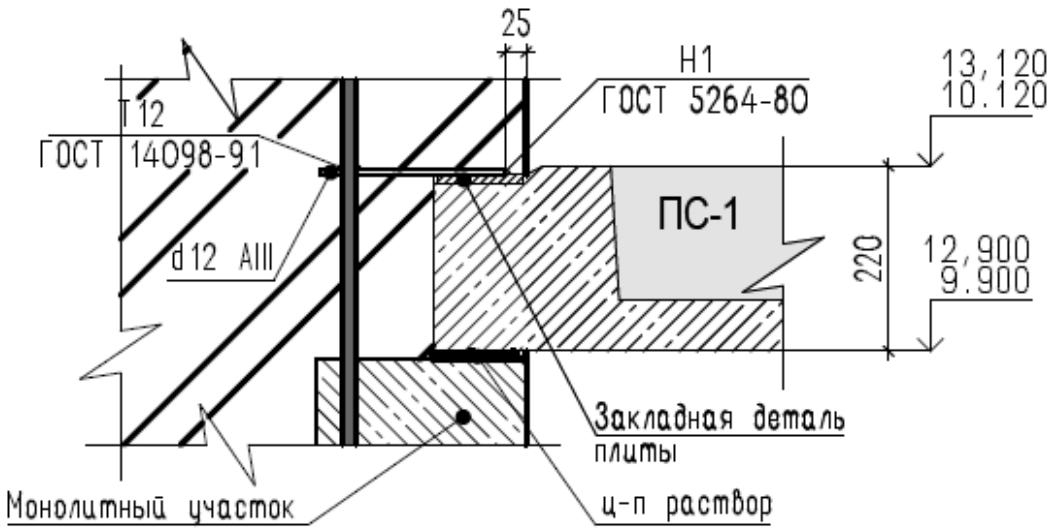



**Рисунок 8. Узел сопряжения сборной плиты перекрытия и кирпичной стены**

Для расчета такого узла зададимся арматурой произвольного сечения и класса, которая способна выдержать усилия, возникающие в узле, и сопоставим усилия, возникающие в узле от нагрузок, действующих на систему $N_{доп}$, и сопротивление арматуры на растяжение N.

Сопротивление арматуры на растяжение вычислим по формуле [1]:

$$N = S \times R, \qquad (1)$$

где S= 1,131 см$^2$ – площадь арматуры d12 AIII;

R= 3750 кг/см$^2$ – расчетное сопротивление арматуры d12 на растяжение.

$$N = 1{,}131 \times 3{,}750 = 4{,}24 \quad T$$

Если в результате расчета получится, что $N < N_{доп}$, то это значит, что сечение подобрано неверно и его следует увеличить и произвести расчет заново. А если же $N \geq N_{доп}$, следовательно, диаметр и класс арматуры подобраны верно.

Вычислим жесткость арматуры d12 AIII и зададим ее в SCAD.

Модуль упругости бетона и кирпича равен:

$E_б$ = 2,75 x 10$^6$ т/м$^2$ = 2,7 x 10$^4$ МПа – для бетона В20

$E_к$ = 448521,9 т/м$^2$ = 4400 МПа

Жесткость есть величина, обратная податливости. Податливость арматуры вычислим по следующим формулам:

$$\varphi = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{d_{10} \cdot E_б}, \qquad (2)$$

$$\varphi = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{d_{12} \cdot E_к}, \qquad (3)$$

$$\varphi_{об} = \frac{1}{\frac{1}{\varphi_1} + \frac{1}{\varphi_2} + \frac{1}{\varphi_3} + \frac{1}{\varphi_4} + \frac{1}{\varphi_{связи}}}, \qquad (4)$$

$$\varphi_{об} = \frac{1}{EF}, \qquad (5)$$

где EF – искомая жесткость

$$\varphi_{\substack{1-4 \\ d=10мм}} = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 2{,}7 \cdot 10^4} = 2{,}22 \cdot 10^{-8} \quad м/Н;$$

$$\varphi_5 = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{1{,}2 \cdot 0{,}44 \cdot 10^4} = 11{,}36 \cdot 10^{-8} \quad м / Н;$$

$$\varphi_{об} = \frac{1}{\frac{4}{2{,}22 \cdot 10^{-8}} + \frac{1}{11{,}36 \cdot 10^{-8}}} = 1{,}89 \cdot 10^8 \, Н / м = 1{,}92 \cdot 10^4 \quad Т / м;$$

$$\varphi_{об} = 1920 \quad Т$$

Для адекватного сравнения моделей такие характеристики, как типы элементов, жесткостные характеристики элементов, нагрузки, действующие на схему, комбинации загружений и расчетные сочетания усилий мы принимаем одинаковыми для модели 1 и 2.

## *Типы элементов расчетной схемы. Задание жесткостных характеристик элементам*

При расчете каркаса здания были назначены жесткости оболочечных элементов, формирующих наружные несущие кирпичные стены в соответствии с расчетом в программе-саттеллите Камин без учета анизотропности материала.

- Коэффициент надежности по ответственности 0,95
- Возраст кладки – до года
- Срок службы 25 лет
- Камень – Кирпич глиняный пластического прессования
- Марка камня – 150
- Раствор – обычный цементный с минеральными пластификаторами
- Марка раствора – 100
- Объемный вес кладки 1,8 Т/м3

## *Нагрузки, действующие на схему*

***Таблица 2. Используемые загружения***

| | Наименование нагрузки | Тип нагрузки | Значение | Коэффициент надежности по нагрузке | Р31 | Р32 | Р33 | Р34 | Р35 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Собственный вес | Постоянная (1,0) | Учитывается автоматически в ПК SCAD | 1,1 | + | + | + | + | + |
| 2 | Распределенная на перекрытия в жилых помещениях ПОЛНАЯ | Кратковременная (0,9) | 150 кгс/м2 | 1,3 | | | | | + |
| 3 | Распределенная на перекрытия в нежилых помещениях ПОЛНАЯ | Кратковременная (0,9) | 200 кгс/м2 | | | | | | |
| 4 | Распределенная на перекрытие технического этажа ПОЛНАЯ | Кратковременная (0,9) | 70 кгс/м2 | | | | | | |
| 5 | Распределенная на перекрытия в жилых помещениях ПОНИЖЕННАЯ | Временная длительная (0,95) | 30 кгс/м2 | 1,3 | | | | | + |
| 6 | Распределенная на перекрытия в нежилых помещениях ПОНИЖЕННАЯ | Временная длительная (0,95) | 70 кгс/м2 | | | | | | |
| 7 | Распределенная на перекрытия в процессе строительства | Временная длительная (0,95) | 100кгс/м2 | 1,3 | + | + | + | + | |
| 8 | Нагрузка от кровли | Кратковременная (0,9) | 329 кгс/м2 | 1,3 | | | | | + |
| 9 | Нагрузка от пола и перегородок (распределенная на перекрытия) | Временная длительная (0,95) | 100 кгс/м2 | 1,3 | | | + | + | + |
| 10 | Снеговая нагрузка | Кратковременная (0,9) | 126 кгс/м2 | 1,4 | | | | | + |
| 11 | Ветровая нагрузка (к перекрытиям) | Кратковременная (0,9) | Вест | 1,4 | + - | + | + | + | + |

На расчетную схему действуют следующие нагрузки:

- собственный вес;
- полезная нагрузка;
- нагрузка от пола и перегородок;
- ветровая нагрузка;
- снеговая нагрузка.

В соответствии со СНиП 2.01.07-85* [1] при высоте здания свыше 40 метра при расчете ветровой нагрузки необходимо учитывать и пульсационную составляющую. Высота нашего здания составляет 54 метра, поэтому была учтена пульсационная составляющая. Расчет выполнен по нормам проектирования "СНиП 2.01.07-85* [1] с изменением №2".

## *Комбинации загружений в расчетной схеме*

Практически любая конструкция подвергается воздействию множества нагрузок различного вида, возникающих при возведении и эксплуатации сооружения. Расчет же чаще всего выполняется на отдельные (элементарные) варианты нагружения в предположении, что любой реальный вариант нагружения системы может быть представлен как линейная комбинация элементарных.

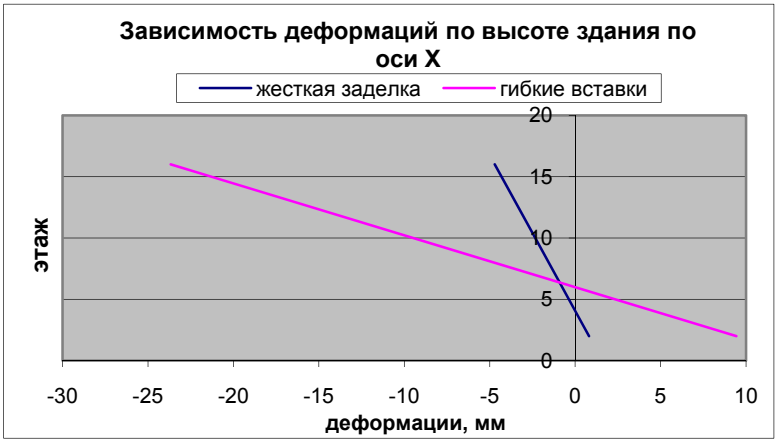
Это предположение оправдано при линейном подходе к расчету, поскольку только для линейных систем справедлив принцип суперпозиции.

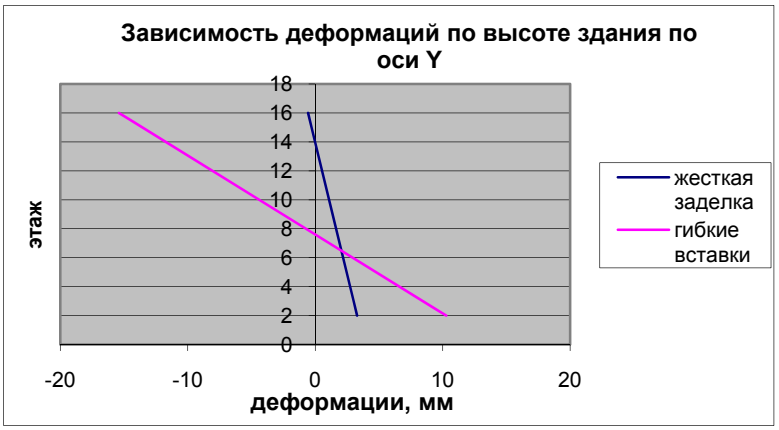
Выполнить расчет на комбинацию загружений — это получить показатели напряженно-деформированного состояния системы, на которую одновременно действуют несколько загружений.

## *Сравнение полученных результатов*

В результате расчета моделей были получены значения перемещений и усилий.

Из графиков на рис. 9 видно, что выбор методики моделирования узлов значительно влияет на деформации здания.



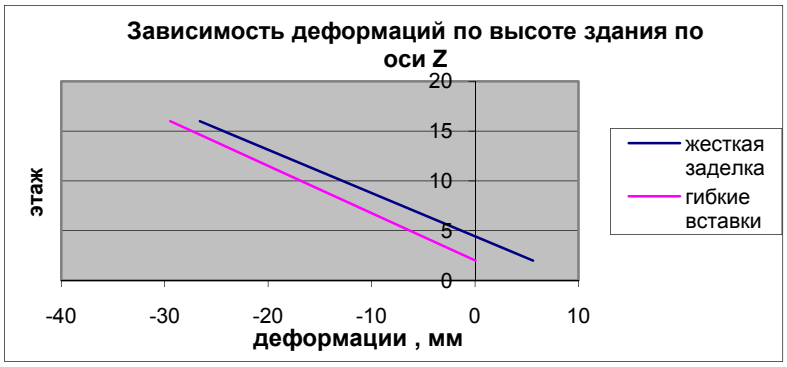



**Рисунок 9. Зависимость деформаций по высоте здания**

## *Заключение*

Проблема доступного жилья и дефицита жилья в целом для Санкт-Петербурга и всего Северо-Западного региона весьма актуальна. Одним из способов решения этих проблем является строительство зданий с использованием неполного железобетонного каркаса. Правильно запроектированное и рассчитанное здание с неполным каркасом повышает надежность и эффективность многоэтажных жилых зданий.

В ходе выполнения работы было сделано следующее.

1. Построены две модели одного и того же здания, с различными видами моделирования узла сопряжения сборного железобетонного перекрытия и несущей кирпичной стены.
2. Показана целесообразность применения предложенного нами узла.
3. Произведены вычисления усилий, возникающих в узле, и на этом основании подобраны оптимальные параметры армирования.
4. Установлена линейная зависимость усилий, возникающих в арматуре, связывающей перекрытие и стену, отличающееся большей точностью численных значений, при двух различных способах описания узла.
5. Предложена методика составления расчетной схемы и способ адекватного описания такого узла с помощью метода конечных элементов.

**Литература**

1. СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия».
2. СНиП 2.03.01-84*. «Бетонные и железобетонные конструкции».
3. СНиП II-28-81 «Каменные и армокаменные конструкции».
4. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / Под общей ред. Перельмутера А.В.. М., 2007.
5. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. Вычислительный комплекс SCAD. М., 2004.
6. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.,1975.
7. Фролов А.К., Бедов А.И., Родина А.Ю., Шпанов В.Н, Фролова Т.В. Проектирование железобетонных, каменных и армокаменных конструкций (учебное пособие). М., 2004.
8. Ханджи В.В. Расчет многоэтажных зданий со связевым каркасом. М., 1977.
9. Дроздов П.Ф. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. Учебное пособие для вузов. – М., 1977.
10. Маклакова Т.Г. Конструкции гражданских зданий. М., 1986.
11. Иванов-Дятлов И.Г., Деллос К.П., Иванов-Дятлов А.И. и др. Строительные конструкции: Учеб. для авт.-дор. спец. вузов. / под ред. Байкова В.Н., Попова Г.И. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1986.
12. Ищенко И.И. Технология каменных и монтажных работ. М., 1976.

**Дмитрий Вадимович Петросов, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

*Тел. раб. 552-76-10, эл. почта dpetrosov@mail.ru*

# Особенности технологии изготовления фибробетонных бесшовных плит

***Доцент ГОУ СПбГПУ И.А. Войлоков*,***
***д.т.н., профессор, декан ИСФ ГОУ СПбГПУ А.И. Альхименко***

В настоящее время на нашем рынке появилось много новых материалов и технологий. Стали появляться и крупные иностранные компании, ведущие работы на принципиально новом технологическом уровне, используя передовую технику и разработки.

Резко выросли объемы промышленного строительства, что особенно хорошо видно на примере сектора ретейла и логистики. При таком строительстве немаловажное значение имеет устройство фундаментных плит и полов. Как правило, одна из основных статей расходов ложится именно на производство работ по подготовке основания и последующим бетонным работам.

Все вопросы, связанные с производством полов на территории СССР, регламентировались СНиП 2.03.13-88 [1], который был введен в действие в январе 1989 года.

До последнего момента данный нормативный документ являлся основным сводом правил, регламентирующим работы с промышленными полами. Хотя он несколько устарел и не совсем отвечает современным требованиям, именно благодаря ему мы можем последовательно выстроить технологическую схему выполнения работ по изготовлению промышленных полов, начиная от постановки задачи, а именно для чего они будут использоваться, в какой области промышленности, какие будут условия эксплуатации и нагрузки. Отсюда вытекает последовательность изготовления промышленного пола: разработка конструкции (типа и схемы армирования), выбор технологии изготовления, в частности рекомендации по выполнению самой работы, определение финишного слоя покрытия. Важно также обеспечить контроль качества на уже выполненных полах и плитах покрытия. Это условия ровности, плоскостности, отсутствия видимых дефектов (трещин, отслоений), способных привести к разрушению и плохой эксплуатации уже изготовленного покрытия.

Но будем последовательны и поэтапно перейдем к рассмотрению каждого пункта в отдельности.

## *Обоснование выбора конструкции пола*

Выбор конструктивного решения пола следует осуществлять исходя из финансовых возможностей заказчика и технико-экономической целесообразности принятого решения в конкретных условиях строительства с учетом обеспечения:

- надежности и долговечности принятой конструкции;
- оптимального расхода цемента, металла, дерева и других строительных материалов;
- наиболее полного использования физико-механических свойств примененных материалов;
- минимизации трудозатрат на устройство и эксплуатацию;
- максимальной механизации процесса устройства;
- широкого использования как местных, так и импортных строительных материалов;
- отсутствия влияния вредных свойств примененных в конструкции полов материалов;
- оптимальных гигиенических условий для людей;
- пожаро- и взрывобезопасности.

Проектирование полов следует осуществлять в зависимости от заданных воздействий на полы и специальных требований к ним, с учетом климатических условий строительства и пожеланий заказчика.

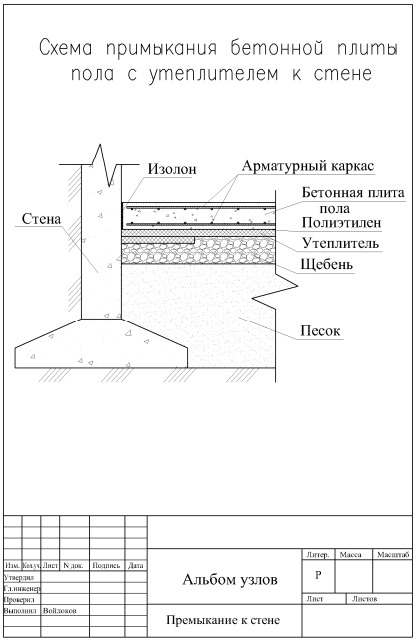
Градуировать интенсивность механических воздействий на полы можно по следующей шкале: весьма значительная, значительная, умеренная, слабая. Также можно градуировать и интенсивность воздействия жидкостей: малая, средняя и большая.

Материалы для химически стойких покрытий полов в помещениях с агрессивными средами следует принимать согласно требованиям СНиП 2.03.11-85 [2]. Существует ряд принципиально новых материалов, которые пока не регламентированы нашим законадательством, но с успехом применяются как на Западе, так и у нас.

## *Подготовка основания*

Правильно подготовленное основание – это залог правильной работы всей плиты пола в целом. Согласно СНиП торф, чернозем и другие растительные грунты в качестве оснований под промышленные полы не допускаются. В основном подготовка основания осуществляется по следующей схеме.

1. Производится срез верхнего слоя грунта и последующая выторфовка.
2. Далее укладывается первый подготовительный слой песка с послойной утрамбовкой по мере засыпки.
3. При помощи бульдозров и виброкатков укладывается и расклинцовывается щебень.
4. Между этапами послойной трамбовки возможна укладка геотекстиля, для улучшения физико-механических свойств основания под плиту.
5. На последнем этапе производятся работы по устройству гидроизоляции: она может быть выполнена как из мембраны, так и из традиционных материалов на битумной основе. Широкое распространение имеет полиэтиленовая пленка.




На всех этапах работы желательно вести контроль качества производства работ. Он может быть осуществлен как при помощи традиционных методов, так и при помощи современного автономного и высокопроизводительного оборудования.

Например, прибор LFG-K, производимый фирмой HMP (Германия). Он позволяет произвести динамическое испытание на сжатие плитой с помощью легкого устройства с падающим грузом, находит применение при выполнении земляных работ, а также при строительстве путей сообщения. Служит для определения несущей способности и уплотнения грунта, несвязанных несущих слоев и улучшенного грунта.

Данный метод испытания пригоден для крупнозернистых и разнозернистых грунтов с крупностью зерна до 63 мм. Он может применяться для определения динамического модуля деформации грунта. Оптимальный диапазон измерения лежит в пределах Evd = 15... 70 МН/м$^2$.

## *Выбор типа армирования пола*

Если предметно остановиться на вопросе выбора типа армирования плиты пола, то на данном этапе выделим три вида:

- традиционное армирование стрежневой арматурой;
- армирование при помощи стального фиброволокна;
- армирование при помощи преднапряженных стальных прядей.

Классическое армирование имеет много сторонников, так как разработана достаточно большая расчетно-нормативная база. Со стороны заказчиков и проектировщиков есть определенное недоверие к новым методам.

Тем не менее, применение фибры постепенно находит себе применение, причем широко используется не только стальная, но базальтовая и стеклянная фибра.

Работы с фиброй велись в нашей стране достаточно давно, еще на рубеже 50-х-60-х годов. Научная и производственная база была заложена в Ленинграде (ЛенЗНИИЭП). Ввиду нехватки технологического оснащения и в угоду крупным производителям металлоемкой арматуры работы по продвижению данной технологии велись исключительно рядом энтузиастов, и в основном фибровое армирование использовалось при изготовлении банковских хранилищ.

Но благодаря нашим передовым предприятиям проблема с пропагандой и внедрением фибры постепенно решается.

На основе испытаний фибр разработаны Руководящие технические материалы (РТМ 17-03-2005) [3], позволяющие в каждом конкретном случае подобрать оптимальный состав сталефибробетонной смеси.

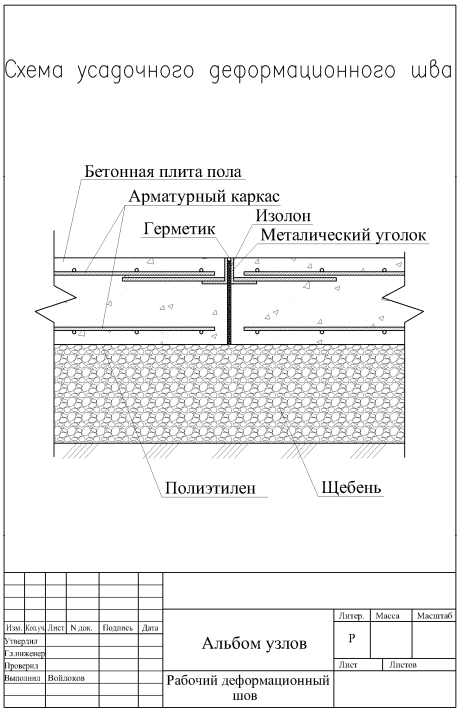
Компании, использующие стальную фибру, всегда могут получить оперативную консультацию по любым вопросам, связанным с особенностями ее применения.

На российском рынке сейчас представлены три производителя: ЗАО «Северсталь-метиз» (г.Череповец), ЗАО «Курганстальмост» (г. Курган) и НПО «Магнитогорск Фибра-Строй» (г. Магнитогорск). На базе данных предприятий также разработаны РТМ и рекомендации к использованию в качестве армирующего материала, эти работы выполнены совместно с НИИЖБ (г. Москва). Вся производимая в России фибра прошла сертификацию в Росстрое и рекомендована для внесения в СНиПы.

Армирование при помощи предварительно напряженных стальных прядей имеет давнюю историю. Данный тип армирования достаточно распространен в мостостороении. Основным поставщиком технологий в данном сегменте является ООО «СТС» (г. Москва). Раньше из-за отсутствия технологий при помощи прядей ограничивались армированием бетона в заводских условиях. Теперь этот метод широко применяется и в производстве полов. Благодаря тому, что у нас было разработано и успешно испытано отечественное оборудование для предварительного напряжения прядей, мы получили возможность оптимизировать толщину плиты, сократив тем самым объем кубатуры бетона.

## *Технология укладки*

Фактически все этапы производства работ по бетонированию можно подчинить одной унифицированной схеме. Данную схему применяют все ведущие производители полов, такие как «Топ Хаус Бетон», Floor Service Russia, «Полимертехнология». При разных типах покрытия в ней могут отсутствовать те или иные этапы.




1. ***Подготовка контура и установка опалубки.*** Для того чтобы приступить к заливке, нужно подготовить контур (если здание уже существующее) и выставить опалубку для последующей приемки и укладки бетона. По периметру стен и колонн, как правило, требуется закрепить материал типа «изолон», толщиной от 5 до 10мм. Он будет работать как компенсатор. Толщина регламентируется несколькими условиями. В частности, размером самой бесшовной плиты, так как насколько она будет расширяться, настолько и потребуется компенсировать ее расширения и сжатия.

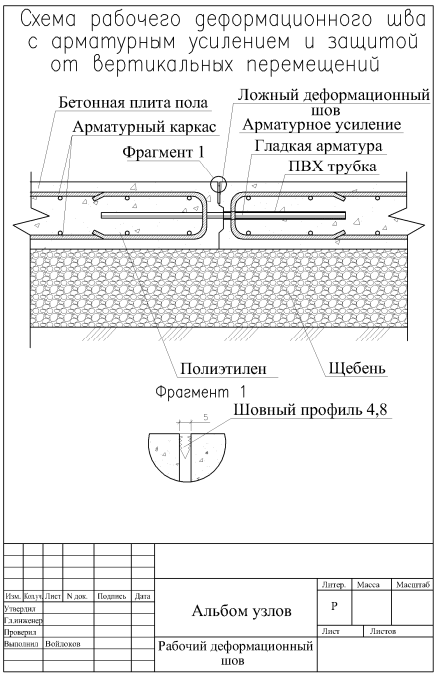
На нашем рынке присутствует достаточно много производителей различных систем опалубки. Как правило, это системы, состоящие из фрезерованного уголка с закрепленной на нем полоской металла. На уголок и на полосу приваривают специальные пластины или арматурные штыри, они будут анкериться в теле бетона. Также через сквозные отверстия в уголке вставляется гладкая металлическая арматура, которая защищается пластиковой трубой, в дальнейшем за счет данной арматуры не будет происходить взаимоподъем плит и расхождение швов, а пластиковая трубка позволит арматуре свободно скользить в двух независимых плитах. Крепление данной полосы осуществляется при помощи пластиковых болтов. Это требуется для того, чтобы можно было притереться одной плитой к другой. Впоследствии при работе двух плит она разрушится, дав возможность плитам расширяться и сжиматься в зависимости от температурных условий.

2. ***Приемка и укладка бетона.*** Для этого вида работ рекомендуется использовать высокотехнологичное оборудование производства фирмы Somero (США). Это самоходные устройства типа CooperHead и PowerRake. Данная технология базируется на применении стационарных лазерных излучателей, которые устанавливаются в зоне проведения работ, и приемников, с помощью которых производится выравнивание поверхности бетона относительно излучателей. Доставка и подача осуществляется при помощи бетоносмесителей и бетононасосов. После укладки производится вибрирование бетонной смеси с последующим выравниванием. Лазерная технология укладки позволяет производить разнонаправленное вибрирование, намного эффективнее уплотняющее бетонную смесь, а, следовательно, сводящее к нулю образование скрытых пустот в теле бетона. При работе по направляющим вибрирование уложенного бетона осуществляется только вдоль установленных направляющих, при этом вероятность образования скрытых пустот очень высока. Эксплуатация пола с пустотами приводит к разрушению поверхности бетона вдоль направляющих с последующим перерастанием в гарантированные ямы.

Более удобно и практично производить работы по так называемым плавающим маякам. С шагом в 1 м на поверхности бетона делаются «пятаки», на которых выставляется рейка с приемником. Данные отметки на поверхности бетона и служат местом для установки приемника, по отметкам которого осуществляется

выравнивание бетонной смеси. При этом возможности укладки ограничиваются только технологическими возможностями производителя работ.

3. ***Затирка поверхности.*** Через 3-6 часов в зависимости от температуры и влажности окружающей среды приступают к первоначальной механизированной затирке поверхности при помощи бетоноотделочных машин. Широко используется оборудование Kreber (Германия), Barrikell (Италия), Bartell (Канада), Whiteman и Allien (США).




4. ***Устройство верхнего слоя (покрытия).*** Вне зависимости от того, какое покрытие мы будем использовать – сухой порошкообразный упрочнитель бетона или полимер – данный этап работ останется в любом случае. Иногда он может быть незначительно изменен.

При использовании сухого упрочнителя по технологии он рассыпается в количестве 5 кг/м$^2$ на поверхность свежеуложенного бетона непосредственно после первоначальной затирки бетонной поверхности. Использование тележки для нанесения упрочнителя позволяет наиболее точно рассчитать количество рассыпаемого упрочнителя, а также контролировать его на каждом из этапов нанесения. На первом этапе наносится 2/3 от общего количества упрочнителя, на втором оставшаяся треть. После первого нанесения необходимо выждать время для того, чтобы упрочнитель полностью насытился влагой, поступающей из бетона. После этого приступают к машинной затирке поверхности бетона с использованием одно- и двухроторных бетоноотделочных машин на дисках. После нанесения оставшейся части материала затирку продолжают с помощью дисков, а по мере затвердевания бетона переходят на лопасти, при этом постоянно увеличивая угол наклона лопастей и скорость вращения роторов.

В случае с полимерным покрытием действия по внесению упрочнителя отсутствуют, и бетон обрабатывается только дисками.

5. ***Нанесение уплотнительного силера.*** Готовый пол необходимо обработать силером, который повышает стойкость к нефтепродуктам, понижает естественное водопоглощение бетона и уменьшает выделение пыли. Уплотнительный силер наносится с помощью валиков, либо с применением специальных пушек Stihl. Опять же, в случае с полимерным покрытием действий по нанесению силера нет.

6. ***Устройство усадочных швов.*** Нарезка усадочных швов производится с использованием шов-резчиков с мокрым резом на величину от 1/4 до 1/3 толщины бетонной плиты пола для того, чтобы избежать появления хаотичных усадочных трещин. Сетка швов зависит от толщины бетонной плиты и геометрии помещения, шага колонн, поэтому определяется расчетным образом в каждом конкретном случае. Для предотвращения скалывания краев усадочных швов, а также придания готовому полу законченного эстетичного вида производится заполнение усадочных швов полиуретановым герметиком или пластиковым шнуром.

Данная схема применима для всех типов бетонных полов, производимых с помощью любого армирования. Как было отмечено ранее, просто некоторые виды работ будут либо включены, либо удалены из технологического процесса. В частности, в случае с полимерными полами требуется подготовить поверхность при помощи дробеструйного оборудования или подвергнуть ее шлифовке. Это необходимо для удаления цементного молочка и обнажения внутренней структуры бетона, что позволяет повысить адгезию бетонного основания пола для последующего проникновения грунта в тело бетона.

## *Выбор типа покрытия*

Теперь мы можем классифицировать все типы покрытий бетонных полов, которые на данном этапе применяются на наших строительных площадках, этот выбор совершенно не зависит от вида армирования:

- Простые бетонные полы, в качестве основания для монтажа керамической плитки.
- Бетонные полы, упрочненные при помощи сухих упрочнителей. Основными производителями являются Masterbuilders, торговая марка Master Top (Бельгия), Mapei (Италия), Durocem (Италия). Также существует отечественный упрочнитель под торговой маркой Level, выпускаемый компанией Топ Хаус Бетон.
- Бетонные полы, упрочненные при помощи жидких упрочнителей. Основной производитель – компания Ashford Formula. Данный вид полов широко распространен в США, но в последнее время начал применяться и в России.

- Бетонные полы с различными видами полимерных покрытий:
  - эпоксидные;
  - полиуретановые;
  - антистатические;
  - латексные.

Здесь уже спектр производителей достаточно широк. Это Tikkurila (Финляндия), DuPont (Франция), Romex (Германия). Отечественные производители тоже не стоят в стороне: Гамма, Пальмира, Левел, Поликом Про. Количество производителей растет, и хочется верить, что соотношение цена-качество в отечественных материалах будут максимально приближена к мировым стандартам.

## *Проверка ровности покрытия*

Заказчику достаточно просто проверить состояние пола на предмет отсутствия трещин и беспыльности, для этого не требуется использование специальных приборов и методик. Гораздо сложнее оценить ровность полов, поскольку в СНиПах и других нормативных документах отсутствуют четкие требования к ровности полов для складских комплексов и производственных помещений, а подробные методики измерения этого показателя не регламентированы.

При использовании штабелеров с высотой подъема груза выше 8 м ровность полов становится определяющим фактором производительности и безопасности эксплуатации складских комплексов. Поставщики современного подъемно-транспортного оборудования одним из условий предоставления фирменной гарантии на механизмы ставят соответствие ровности полов определенным стандартам (как правило, зарубежным).

Наиболее распространенный метод измерения ровности полов – с помощью измерительной (контрольной) рейки. Он заключается в измерении просвета между поверхностью пола и двухметровой или трехметровой рейкой, уложенной в произвольном направлении. При этом за ровность принимается максимальное значение измеренного просвета.

Такая методика пригодна только для предварительной оценки качества пола, но никоим образом не может быть использована для полов с повышенной ровностью (т.н. сверхплоских покрытий). Значения просветов между полом и контрольной рейкой, полученные при замерах двумя разными людьми, могут отличаться вдвое. А воспроизвести результаты измерения одного и того же участка покрытия практически невозможно. Такое положение часто приводит к конфликтам между заказчиком и подрядной организацией – исполнителем работ по устройству полов, каждый из которых старается произвести измерения наиболее удобных для своей стороны участков пола.

Еще один недостаток указанного метода измерения состоит в том, что регламентируется только максимальный просвет между полом и рейкой, но никак не оговаривается количество таких просветов. Поэтому пол с профилем стиральной доски с высотой волн 3 мм будет считаться ровным, хотя совершенно непригоден для эксплуатации.

Для заказчика особенно важно контролировать ровность участка пола сразу же после его укладки, чтобы вовремя предпринять меры по улучшению качества выполнения работ подрядчиком или даже приостановить работы.

Для измерения ровности рекомендуется использовать прибор компании Allen Face (США) – F-meter, который выдает показатели FF и FL непосредственно после измерений. Точность измерений составляет 0,03 мм. Производительность измерений – до 5000 м$^2$ в день.

**Литература**

1. СНиП 2.03.13-88 «Полы».
2. СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии».
3. Руководящие технические материалы РТМ-17-02-2003 по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций на фибре, резаной из листа.
4. СП 52-104-2006 «Сталефибробетонные конструкции».
5. Войлоков И.А., Горшков А.С. Промышленные полы в паркингах и на автостоянках // СтройПРОФИль №4(66) 2008

** Илья Анатольевич Войлоков, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

*Тел. Моб. +7(921)944-52-99, эл. почта ilya@voilokov.ru*

# Новая технология – «фундамент на трубогрунте»

*К.т.н., доцент ГОУ СПбГПУ Г.Я. Булатов*, инженер А.Ю. Костюкова*

Основание зданий и сооружений является наиболее важной и определяющей системой в обеспечении надежности и долговечности сооружения при его эксплуатации. В общем объеме строительства устройство оснований и фундаментов имеет значительный удельный вес как по стоимости, так и по трудоемкости строительных работ. Поэтому необходимо производить рациональное проектирование оснований и фундаментов с рассмотрением всех возможных вариантов и их последующим технико-экономическим сопоставлением.

Свайные фундаменты получили широкое распространение в фундаментостроении. Они позволяют возводить здания и сооружения на слабых грунтах с недостаточной несущей способностью. Во многих случаях это единственный эффективный способ возведения сооружений в сложных инженерно-геологических условиях.

Территория строительства в районах Санкт-Петербурга в геологическом отношении представлена четвертичными отложениями: за насыпными грунтами идут пески – от рыхлых до средней плотности, толщиной от полутора до трех метров. Ниже находятся ленточные отложения со слабыми грунтами толщиной 10 – 12 метров. Затем – моренные пласты с хорошими прочностными свойствами. Еще ниже – кембрийские отложения, представленные твердыми глинами. Эти глины – хорошее основание для сооружений. Грунтовые воды располагаются на глубине 1,5 – 3 метра с амплитудой колебаний около метра.

Современные технологии возведения фундаментов предлагают устройство буронабивных фундаментов. Однако подобный способ в грунтовых условиях центральной части Санкт-Петербурга приводит к значительному увеличению сроков и стоимости строительства. Помимо этого, технология устройства буронабивных фундаментов в условиях исторической застройки может вызвать неравномерную осадку близлежащих зданий, трещинообразование и переход в аварийное состояние.

В последние годы широко возводились причальные сооружения на металлических сваях-оболочках, так как они имеют много достоинств. Стальные сваи лучше выдерживают динамические нагрузки и воспринимают большие изгибающие моменты по сравнению с железобетонными сваями.

Предлагаемая технология будет наиболее эффективна к применению в условиях акватории. Она основана на применении открытых снизу стальных трубчатых свай.

Об использовании стальных трубчатых свай подробнее см.: Булатов Г.Я., Костюкова А.Ю. Технология возведения фундаментов – «свая в трубе» // Инженерно-строительный журнал, №1, 2008. С. 33-37.

Технической задачей предложения было снижение расхода материалов и удельной трудоемкости работ.

Поставленная задача решена за счет того, что после погружения трубчатой сваи удаляют слабый грунт из её полости, выравнивают поверхность грунтового ядра, уплотняют его, укладывают (при необходимости) слой дренирующего материала с уплотнением и внутрь трубы устанавливают фундаментную колонну, передающую нагрузки от ростверка на грунтовое ядро («трубогрунт»).

Указанные признаки расширяют возможности применения трубчатых свай больших диаметров при использовании обычных строительных средств, а также обеспечивают щадящее воздействие на окружающую среду вследствие поэтапного устройства отдельных элементов сваи.

Сущность предложения поясняется чертежами: где на рис. 1 показан продольный разрез по трубчатой свае с внутренней колонной-фундаментом в виде стакана, на рис. 2 – то же, поперечный разрез. На рис. 3 – продольный разрез по трубчатой свае с внутренней центральной колонной, на рис. 4 – то же, поперечный разрез.

На рис. 1 и 2 представлена погруженная в грунт трубосвая 1 с частично срезанным грунтовым ядром 2, прикрытым дренажным слоем 3, например, крупнозернистого песка, на который установлена колонна 4 в виде стакана и ростверк 5. Верхняя часть трубосваи 1 может быть снята по разъему 9.

На рис. 3 и 4 представлена свая 1 с центральной колонной, состоящей из стойки 6, соединенной с фундаментной плитой 7 и с капителью-надколонником 8.

Рассмотрим работу предлагаемого способа, используя рис. 1 и 2.

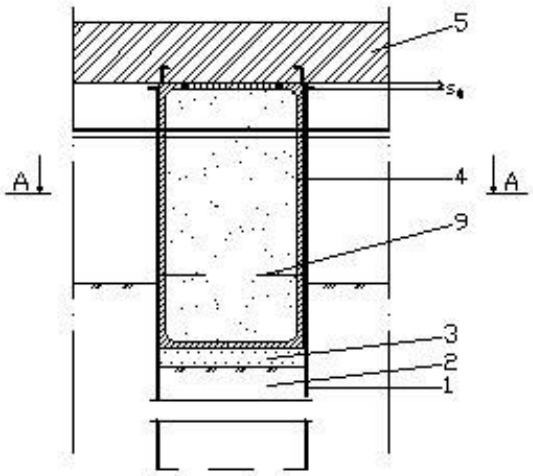



Рисунок 1

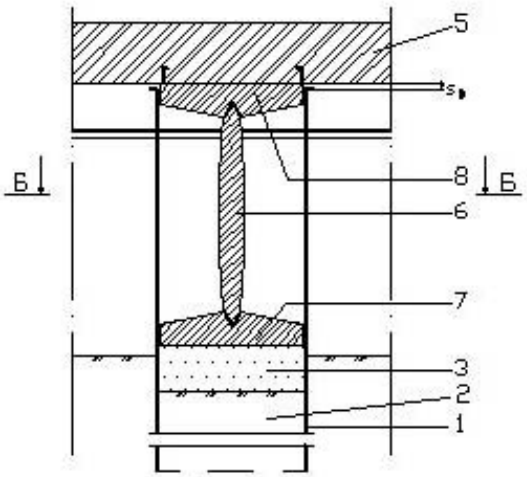



Рисунок 3

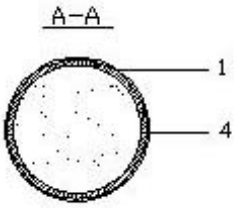



Рисунок 2

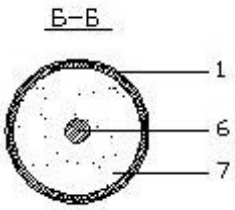



Рисунок 4

При погружении трубосваи 1 в её полость входит грунт в виде ядра 2 цилиндрической формы, поскольку свая легко прорезает толщу грунта основания своими тонкими стенками. При этом несущая способность её по грунту не будет высокой. Для повышения эффективности сваи 1 удаляют слабый грунт из ее полости, выравнивают поверхность грунтового ядра 2, уплотняют его, укладывают дренажный слой 3 и устанавливают на него колонну-фундамент, при этом между ростверком 5 и сваей 1 выполняют зазор $S_0$ на осадку фундаментной плиты. Колонну выполняют из нескольких элементов, в числе которых устанавливают домкрат, компенсируют осадку основания колонны, выполняют постоянную опору и выключают домкрат.

Вариантом способа может быть то, что колонну отливают на месте установки из твердеющего материала, например, из бетона, с антифрикционной изоляцией от трубосваи 1, а после выполнения колонны производят снятие верхней части трубосваи 1 до разъема 9 (рис. 1).

Предварительное уплотнение грунтового ядра 2 выполняют с передачей воздействия через колонну 4 и (или) трубосваю 1.

Уплотнение ядра 2 обеспечит уменьшение осадки основания колонны 4. Установка домкрата (на рис. не показан) между ростверком 5 и колонной 4 позволит компенсировать основную часть осадки основания колонны 4 и превратить устройство в безосадочный фундамент.

Работа способа с использованием рис. 3 и 4 идентична вышеизложенному. Особенностью является то, что на дренажный слой 3 устанавливают колонну, предварительно смонтированную из элементов 6, 7 и 8, или бетонируют ее на месте. Вариантом колонны-фундамента может быть и плито-свайная опора [1]. Полости колонны-фундамента можно заполнить, например, крупнозернистым песком.

Фундаментная плита 7 обеспечит полное заклинивание («запирание») грунтового ядра 2 в полости трубосваи 1 и превратит ее в квазимонолитную с площадью брутто опорного сечения на острие, что существенно повысит ее несущую способность по грунту.

## *Расчет прочности материала трубчатой сваи и колонны*

I. Период момента окончания погружения сваи.

II. Момент эксплуатации при наиболее неблагоприятном и тяжелом нагружении.

Рассмотрим каждый из этих случаев.

Продольную вертикальную сжимающую силу в материале трубчатой свай представим в следующем виде:

$$F_{dп} = F_d \cdot K_{дин}, \qquad (1)$$

где $F_d$ – несущая способность трубчатой сваи;

$K_{дин}$-коэффициент динамичности при погружении сваи.

Коэффициент динамичности в первом приближении можно принять:

1,5 – при погружении молотом;

1,2 – при вибропогружении;

1,0 – при статическом задавливании.

Расчетная схема для определения напряжений в материале трубчатой сваи представлена на рис. 5.

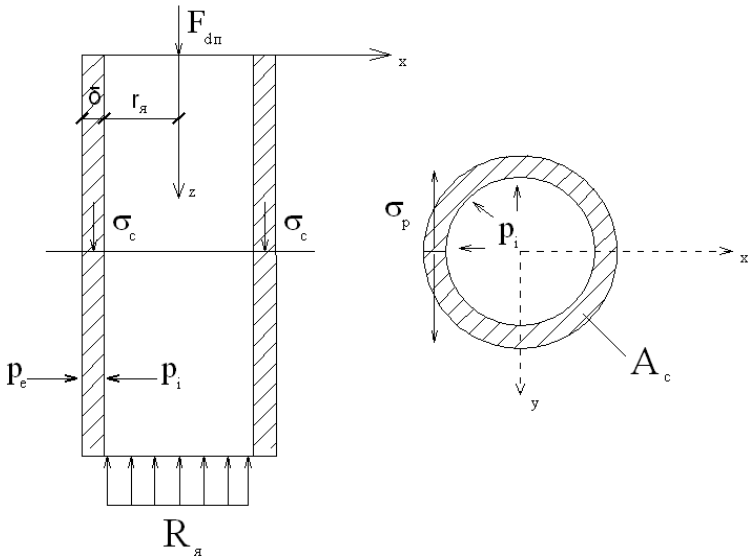



**Рисунок 5. Расчетная схема для определения напряжений**

Наибольшие вертикальные напряжения сжатия в трубчатой свае $\sigma_c$ возникают при $z = 0$, и равны:

$$\sigma_c = F_{dп} / A_c, \qquad (2)$$

при $A_c = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \delta$ и $r = r_я + \delta$, (3)

где $A_c$ – площадь сечения трубосваи (нетто);

$r_я$ – радиус грунтового ядра;

$\delta$ – толщина стенки трубы.

Наибольшие горизонтальные напряжения растяжения в трубчатой свае $\sigma_p$ возникают при $z = h_п$, и равны:

$$\sigma_p = (p_i - p_e) r / \delta, \qquad (4)$$

где $p_i$ и $p_e$ – горизонтальные давления грунта на стенку изнутри и снаружи;

$\delta$ – толщина стенки трубы;

$r_я$ – радиус грунтового ядра.

В свою очередь, в первом приближении можно записать

$$p_i = R_я \cdot \xi_i, \quad (5)$$

$$p_e = \sigma_x, \quad (6)$$

где $R_я$ – удельное сопротивление проталкиванию грунта ядра внутрь полости трубы [2];

$\xi_i$ – коэффициент бокового давления;

$\sigma_x$ – давление грунта снаружи трубчатой сваи.

В простейшем случае получим:

1. Для сечения $z = 0$ (голова сваи) $\sigma_p = 0$ и $\sigma_c = \sigma_{c\,max}$.

2. Для сечения $z = h_n$ (на отметке подошвы трубы) при $p_e = 0$ (в первом приближении, см. формулу 20) и $\sigma_c = 0$ получим $\sigma_{p\,max} = (\xi_i \cdot R_я \cdot r_я)/(\delta)$.

Продольную вертикальную сжимающую силу в материале трубосвай как функцию времени $T$ (от начала ее погружения) представим в следующем обобщенном виде:

$$P_c(z,T) = P(z,T) - P_n(z,T) - P_я(z,T) - P_{\partial c}(z,T), \quad (7)$$

где $P(z,T)$ – полная нагрузка от ростверка, относящаяся к одной свае;

$P_n(z,T)$ – нагрузка, воспринимаемая основанием плиты ростверка за пределами трубосваи;

$P_я(z,T)$ – то же, воспринимаемая грунтовым ядром сваи;

$P_{\partial c}(z,T)$ – нагрузка на дополнительные сваи или колонны, устанавливаемые внутри трубосваи;

$z$ – вертикальная координата, направленная вниз от подошвы ростверка, совпадающая с осью трубосваи (в последующих записях координаты $(z,T)$ опустим).

Расчетная схема для определения напряжений в материале трубчатой сваи представлена на рис. 6.

Наибольшие вертикальные напряжения сжатия в трубчатой свае $\sigma_c$ возникают при $z = 0$, и равны:

$$\sigma_c = P_c / A_c, \quad (8)$$

при $A_c = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \delta$ и $r = r_я + \delta$, (9)

где $A_c$ – площадь сечения трубосваи (нетто);

$r_я$ – радиус грунтового ядра;

$\delta$ – толщина стенки трубы.

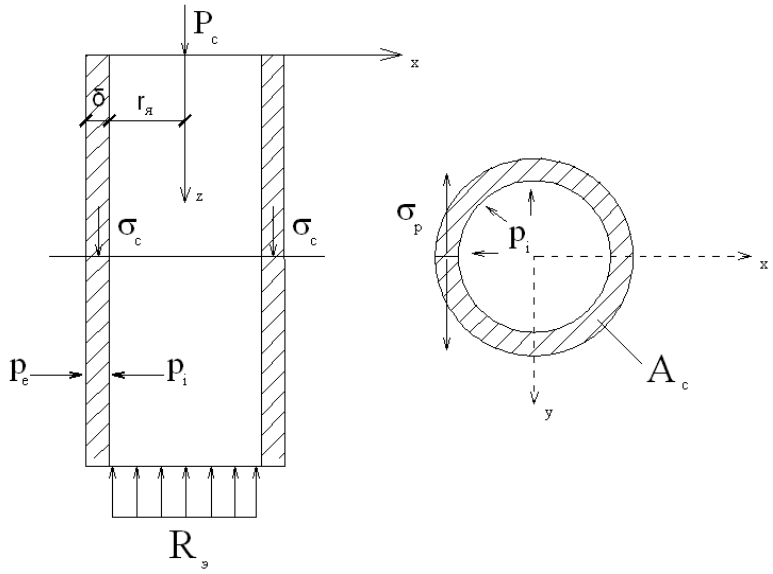



**Рисунок 6. Расчетная схема для определения напряжений**

Наибольшие горизонтальные напряжения растяжения в трубчатой свае $\sigma_p$ возникают при $z = h_п$, и равны:

$$\sigma_p = (p_i - p_e) r / \delta \ , \qquad (10)$$

где $p_i$ и $p_e$ – горизонтальные давления грунта на стенку изнутри и снаружи;

$\delta$ – толщина стенки трубы;

$r_я$ – радиус грунтового ядра.

В свою очередь, в первом приближении можно записать

$$p_i = R_э \cdot \xi_i + \Delta p_{i\,доп} \ , \qquad (11)$$

$$p_e = \sigma_x \ , \qquad (12)$$

где $R_э$ – удельное сопротивление проталкиванию грунта ядра внутрь полости трубы [2];

$\xi_i$ – коэффициент бокового давления;

$\Delta p_{i\,доп}$ – давление горизонтальное давление грунта на стенку изнутри;

$\sigma_x$ – давление грунта снаружи трубчатой сваи.

Таким образом, ориентировочные расчеты показывают, что в качестве трубчатой сваи могут быть применены относительно тонкостенные стальные трубы, например, толщина стенки $\delta$ может быть 8 мм, включая запас на коррозию в 1,5 мм.

Отметим следующие преимущества предлагаемых технических решений:

а) они позволяют создать свайные фундаменты с высокой несущей способностью с помощью обычных строительных средств при пониженной удельной трудоемкости работ;

б) способ относится к щадящим окружающую среду технологиям, поскольку предусматривается лишь погружение тонкостенных (режущих) трубчатых свай. Динамическое воздействие уплотнения грунтового ядра при этом локализуется полостью внутри сваи;

в) применение уплотняющих и домкратирующих устройств позволяет получить технологию возведения практически безосадочного фундамента.

**Литература**


1. Буштрук А.П. Возведение и расчет плитосвайного фундамента // Свайные фундаменты в условиях слабых грунтов. Часть 1. – Ленинградский дом научно-технической пропаганды, 1966. С. 78-82.
2. Бугров А.К. Механика грунтов: Учеб. Пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007.
3. Гожа В. И., Наймарк О. С. Глубоководный причал комбинированной конструкции из стальных элементов. — СПб: «Судостроение», 2005 г.
4. Долинский А. А., Зайончковский В. И., Николаевский М. Ю., Рябинин А. В. Нетрадиционные конструкции фундаментов портовых складов, возведенных на слабых илистых грунтах прибрежно-морских отложений. / Сб. научн. тр. под ред. И. И. Сулейманова. К 120-летию ОАО «Ленморниипроект». — СПб.: «Судостроение», 2005 г., с. 324–330.
5. Прудентов А.И. Железобетонные сваи с грунтовым ядром. Л.: Стройиздат, 1971.
6. Рахаринуси А.П. Применение стальных трубчатых свай с открытым нижним концом в портовых гидротехнических сооружениях. Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.19 СПб., 1999.
7. СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений».
8. СНиП 2.02.03.-85 «Свайные фундаменты».
9. СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов».
10. Справочник проектировщика промышленных и гражданских зданий и сооружений: расчётно-теоретический / Под редакцией А.А. Уманского. – М.: Госстройиздат, 1960. 1040 с.
11. ТСН 50-302-96 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге».


** Георгий Яковлевич Булатов, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

*Тел. раб. 297-59-49*

®

# Почему мы выбираем монолитный пенобетон в качестве утеплителя?

В настоящее время в строительстве применяются различные теплоизоляционные материалы, и порой очень трудно принять верное решение по использованию наиболее эффективного.

**Пенополистирол** типа ПСБ-С — недополимеризован, выделяет отравляющие вещества, дает осадку, намокает и разрушается, и поэтому запрещен во всех европейских странах. Экструзионный полистирол дорог и также неприменим внутри стеновых конструкций из-за мостиков холода между отдельными блоками полистирола, из-за перевязки кирпичной кладки и т.д.

**Минераловатные** утеплители дают осадку, намокают, и это не только резко уменьшает теплозащиту, но и увеличивает нагрузку при их применении для утепления кровель, что приводит даже к их обрушению, как это, например, имело место в Байконуре, где рухнули три пролета из пяти космического комплекса, что привело к человеческим жертвам. Доставлять эти утеплители на стройку – это везти воздух. **Производитель таких утеплителей «ATLAS ROKER» дает гарантию 10 лет.**

**Монолитный пенобетон** является единственным теплоизоляционным материалом, производимым непосредственно на стройплощадке в любых погодных условиях, до **-25°С.**

**В многоэтажном строительстве монолитный пенобетон** плотностью от 130 кг/м$^3$ используется для утепления плоской кровли, мансард, чердаков, ограждающих конструкций жилых, производственных и спортивных сооружений.

Технологии строительства «СОВБИ» в наибольшей степени могут быть применимы в неблагоприятных условиях, обеспечивая при этом строительство долговечного, капитального, комфортного жилья с соблюдением соответствующих норм теплозащиты для всех регионов страны. В настоящее время они используются строительными компаниями более чем в 180 городах.

**В малоэтажном строительстве** эти технологии совмещают известную технологию каркасно-щитового строительства с использованием дерева или легких металлоконструкций и новейшую технологию получения на стройплощадке монолитного, неавтоклавного, теплоизоляционного, звукоизоляционного и конструкционного пенобетона, используемого во всех элементах и узлах дома от фундамента и до кровли. Он обеспечивает возведение дома площадью 150-200 м$^2$ за 1-1,5 месяца, при этом себестоимость дома, подготовленного под чистовую отделку, включая фундамент, находится в пределах **5000-7000 за м$^2$**. Стоимость строительства может быть уменьшена за счет привлечения самих будущих жильцов, что вполне приемлемо при обеспечении жильем бывших военных и молодежи.

При этом замена обычно применяемых минераловатных или полистирольных утеплителей пенобетоном обеспечивает капитальность, пожаростойкость и долговечность каркасно-щитовых домов и позволяет решать комплексно задачи круглогодичного строительства с **одновременным строительством дорог, утеплением подводящих коммуникаций и трубо-, паропроводов диаметром 57–14320 мм, с температурой содержащихся в них веществ до +300° С.**

**В дорожном строительстве** применение пенобетона не только позволяет удешевить и улучшить качество наших дорог, выходящих из строя в основном из-за некачественного щебеночного слоя и морозного пучения грунта, но и полностью отказаться от щебня, применения тяжелой техники; обеспечить теплозащиту грунта, уменьшить зависимость от человеческого фактора, использовать золу и другие техногенные отходы, добавляемые в пенобетон.

Все перечисленные виды работ производятся на **мобильных установках «СОВБИ», которые могут подавать пенобетон на высоту свыше 70 м по вертикали и свыше 250 м по горизонтали. Обслуживает установку двое рабочих, на стройплощадке установка занимает 8 м$^2$ и перевозится в малотоннажном автомобиле типа «Газель».**

При продаже оборудования обязательно проводится обучение на строительных объектах. Вместе с комплектом оборудования предоставляются проекты домов, методические рекомендации на отдельные виды работ, альбомы типовых решений, сертификаты, протоколы испытаний, расчеты и другая техническая документация.

***Холдинг «СОВБИ», www.sovbi.spb.ru***

***Телефон (812) 275-46-77, 275-36-89, факс (812) 275-46-92, e-mail: sovbi@mail.wplus.net***

# Экспресс-метод контроля эрозии бетона

***Д.т.н., профессор ГОУ СПбГПУ С.Г. Никольский****

Эмиссионные методы основаны на том, что при зарождении микротрещин или при скачкообразном развитии магистральной трещины освобождается динамически потенциальная энергия деформации частично разгруженного объема. Эта энергия расходуется не только на образование новой поверхности, но и на пластическую деформацию перед вершиной трещины, на колебания вновь образовавшейся поверхности, а также на другие сопутствующие процессы. В частности, зарегистрирована эмиссия электронов с поверхности деформируемых металлов и излучение электромагнитных волн при нагружении силикатного стекла. Пластическая деформация перенапряженных объемов вызывает локальный разогрев и эмиссию тепла из зоны разрушения. Колебания вновь образовавшейся поверхности инициируют акустический импульс длительностью от десятых до десятков миллисекунд. Каждый импульс, многократно отражаясь от поверхностей изделия и постепенно рассеиваясь на неоднородностях материала, создает акустический сигнал, который в виде волн напряжений регистрируют на поверхности изделия как акустическую эмиссию.

Интенсивность этих эмиссий позволяет судить о фазе разрушения и о его кинетике, что используют для оценки прочности и остаточного ресурса изделия; причем точность этих оценок оказывается значительно выше, чем точность косвенных методов[1] контроля прочности. Чувствительность эмиссионных методов также на порядок выше, чем у других неразрушающих методов, и позволяет обнаружить зарождение или развитие дефекта размером 1 мкм. Кроме того, эмиссионные методы позволяют локацией определить координаты слабого звена без сканирования изделия. В настоящее время в силу исторических причин наиболее разработаны методы регистрации акустической эмиссии (АЭ). Их же чаще других эмиссионных методов используют для контроля разрушения и прочности.

Обычно АЭ регистрируют с помощью пьезопреобразователя, установленного на поверхности изделия и имеющего с ним акустический контакт через слой смазки, жидкости или через волновод. Акустико-электронная система регистрирует общее число N акустических сигналов, количество их в единицу времени – активность АЭ $\dot{N}$, а также информацию об амплитудах сигналов и о вероятностном распределении этих амплитуд. Амплитуда сигнала сильно зависит от расстояния между источником АЭ и датчиками. Активность же $\dot{N}$ АЭ определяется числом событий в единицу времени, в частности, интенсивностью микрорастрескивания или скоростью роста магистральной трещины и по этой причине содержит больше информации о процессе разрушения.

К сожалению, $\dot{N}$ микрорастрескивания часто маскирует $\dot{N}$ наиболее опасного дефекта и мешает тем самым оценке опасного дефекта по $\dot{N}$ .

Эрозия – главное препятствие для длительной работы изделия при максимальной неразрушающей нагрузке $L_0$. В этом случае скорость эрозии определяет долговечность. Скорость могут оценивать визуально с использованием краски, магнитного порошка, суспензии, оттиска эродированной поверхности, фотографирования, а иногда и интраскопа с гибким световодом. При этом трещины от 2 до 5 мм и меньше могут быть не обнаружены. Вероятность пропуска дефекта при визуальном осмотре составляет 0,12 и выше. Метод цветной дефектоскопии трудоёмок, так как требует подготовки поверхности с шероховатостью $R_z$=1,25 мкм. Лишены вышеперечисленных недостатков традиционные вихретоковые и активные ультразвуковые методы контроля.

Методы оценки эрозии по эмпирическим формулам удовлетворительно характеризуют эрозию изделия того типа и формы, для которых они разрабатывались. Применение этих формул к другим изделиям невозможно: прогнозируемое отличается от наблюдаемой картины эрозии.

Для увеличения долговечности изделия существуют методы борьбы с эрозией, которые делят на активные, пассивные и активно-пассивные. К первым относят способы изменения характеристик среды, приводящей к эрозии материала, например уменьшение влажности и размера капель воды, ко вторым – применение эрозионно-стойких материалов, например покрытий из стеллита. Третьи представляют собой комбинирование первых двух групп [1]. Для совершенствования этих методов проводят теоретические и экспериментальные исследования. Первые посвящены созданию расчёта эрозии [2], вероятностно-статистическому анализу эрозионного состояния [3]. Вторые уделяют внимание поиску не только статистической связи эрозии с параметрами материала (твёрдостью по Бринеллю, пределом прочности на сжатие и др.), но и использованию современных методов нанодиагностики[2], например акустико-эмиссионному способу.

Ещё в прошлом веке эрозию керамики рассматривали как процесс скалывания, в котором решающую роль играет пластическая деформация, а то, что максимальные шум и эрозия – два одновременных процесса, было отмечено недавно [6].

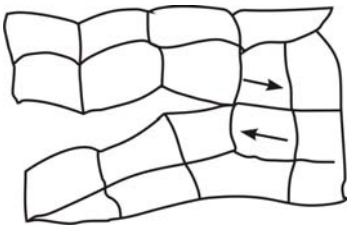


**Рис. 1. Устье трещины в кристаллическом теле (стрелками отмечены зерна с остаточными деформациями сдвига)**

Данная статья посвящена проблеме создания неразрушающего метода определения следующих величин для конкретного изделия: максимальной неразрушающей нагрузки $L_0$, остаточного ресурса и эрозии.

## *Основной результат*

Эффект Кайзера затрудняет оценку по АЭ состояния изделия после аварийной нагрузки $L_{ав}$, значительно превышающей эксплуатационную нагрузку $L_{эк.}$ В этом случае при контрольном нагружении АЭ отсутствует, пока $L<L_{ав}$. А при $L=L_{ав}$ возможно заметное развитие опасного дефекта, снижение прочности изделия, а иногда и его разрушение при контрольном нагружении. В частности по этой причине, для оценки состояния изделия по АЭ его целесообразно нагружать до $L<L_{эк}$ и регистрировать АЭ не при нагружении, а в процессе разгрузки, когда не развиваются микропластические или пластические деформации и нет АЭ микрорастрескивания или роста опасного дефекта. Однако при разгрузке с $L\approx L_o$ трещина перестает закрываться еще до полного снятия нагрузки. Этот эффект, обнаруженный Эльбером в 1978 году, получил название «закрытие трещины». Вызван он тем, что при $L\approx L_o$ старту трещины предшествуют микропластические деформации перед фронтом трещины, которые при разгрузке приводят к несовпадению микрорельефа поверхностей трещины у вершины (рис.1). Это несовпадение вызывает шумы трения («зубной скрежет») перед окончанием разгрузки. Современная аппаратура позволяет регистрировать такие шумы и тем самым без разрушения изделия определять значение $L_o$ изделия, даже если при его нагружении АЭ отсутствовала, например, из-за эффекта Кайзера.

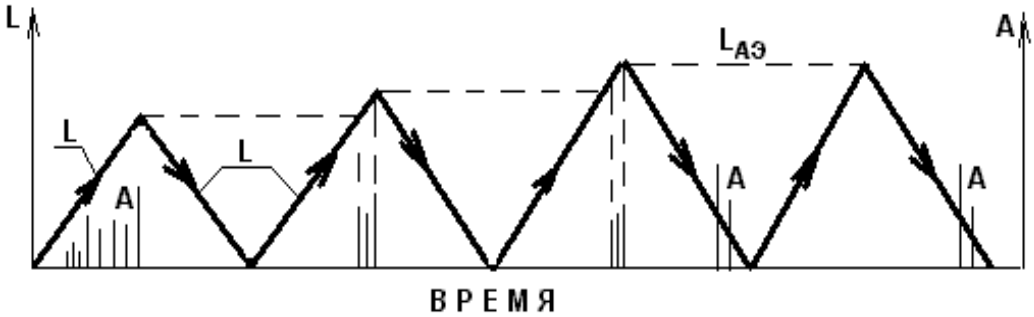



**Рисунок 2. Режим определения $L_o$**

Сдвиговые микропластические деформации в вершине трещины предшествуют ее старту, поэтому дискретная АЭ при разгрузке появляется еще до старта трещины. Это обстоятельство позволило создать надежный способ определения пороговой нагрузки $L_o$ для изделий с исходными технологическими дефектами, результат которого не зависит от предыстории изделия.

Нагрузку $L_{АЭ}$, после которой появляется дискретная АЭ закрытия трещины (рис. 2), определяют, регистрируя амплитуду А акустических сигналов при разгрузке. Если в процессе разгрузки дискретная АЭ отсутствовала, то при последующем нагружении максимальную нагрузку увеличивают на 4…5%. Зарегистрировав дискретную АЭ, повторяют циклы с $L_{макс}=L_{АЭ}$, чтобы убедиться в воспроизводимости сигналов дискретной АЭ при разгрузке. Значение пороговой нагрузки рассчитывают по формуле $L_o=0{,}95L_{АЭ}$. Экспериментально установлено [7], что если максимальная нагрузка цикла не превышает $0{,}95L_{АЭ}$, снижение $L_{АЭ}$ после $10^7$ циклов если и имеет место, то не превышает погрешности эксперимента, 0,5 %. Погрешность определения $L_o$ конкретного изделия можно свести к 2%. Снижение $L_o$ после 12 опытов по ее определению не превышает 4%; экспериментально также выяснено [8], что $L_o$, в отличие от разрушающей нагрузки $L_P$, не зависит от температуры, например, для керамики в диапазоне 78…1400 К.

Значение $L_o$ характеризует длительную прочность конкретного изделия при заданной схеме его нагружения.

Номинальные напряжения $\sigma_o$, рассчитанные по $L_o$ в условиях растяжения, сжатия или изгиба, называют пределом длительной прочности[3] при статическом нагружении или пределом выносливости при циклическом нагружении.

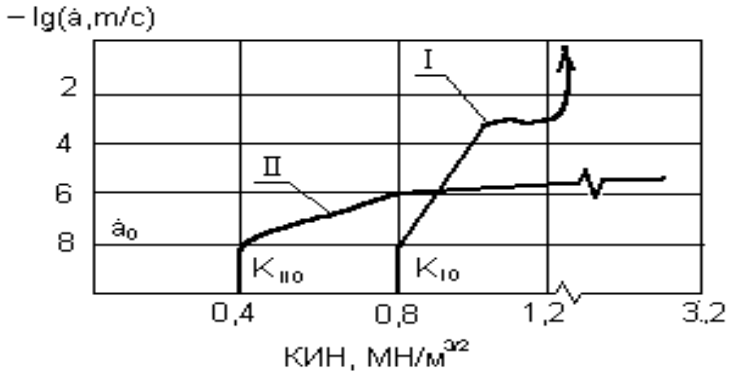


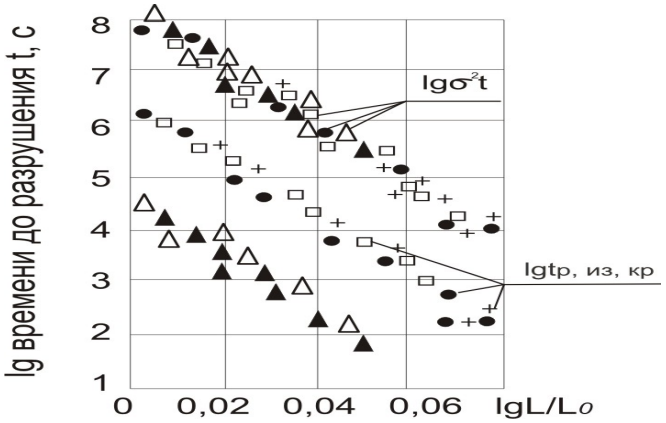

**Рисунок 3. Зависимость скорости á роста трещины в техническом фарфоре в условиях: I - отрыва, II –сдвига**

Так как коэффициент интенсивностей напряжений $K_o = Y\sigma_o\sqrt{a}$, то значение $\sigma_o$ и $L_o$ зависит от размера дефекта $a$, попавшего в наиболее напряженную область изделия ($Y$ - безразмерный коэффициент, учитывающий соотношение размеров трещины и тела, а также другие особенности тела). По этой причине изменение схемы нагружения, например, направления изгиба силой посередине пролета стержня круглого сечения, приводит, как выяснено неразрушающим методом для хрупкого материала, к изменению предельных нагрузок $L_o$ и $L_P$ в несколько раз и к изменению отношения $L_P/L_o$ от 1,15 до 4.

На рис. 3 при $K>K_o$ до практически горизонтального участка справедливо соотношение $\dot{a} = \dot{a}_o(K/K_o)^n$, где $n$ – константа материала при заданной температуре, обратно пропорциональная ей. Для трещины отрыва $n$ раза в 2 больше, чем для трещины сдвига, и на графике плато (которого может и не быть) сменяется практически вертикальной прямой. Трещина же сдвига, достигнув незначительной скорости, мало увеличивает ее до момента фрагментации изделия, если только не переходит в трещину отрыва. За $K_{Ic}$ обычно принимают значение $K_I$ при $\dot{a} \approx 1$ м/с. Как правило, трещина сдвига начинает развиваться раньше трещины отрыва, постепенно ослабляет изделие и подготавливает катастрофическое разрушение отрывом.

Интегрирование $\dot{a} = \dot{a}_o(K/K_o)^n$ при $\sigma = const$ приводит к результату $\sigma^2 t = \sigma^2_o t_o / x^{n-2}$ или $t = t_o/x^n$, где $x = \sigma/\sigma_o = L/L_o$, $L$ – действующая нагрузка, $t_o$ – долговечность при $x \to 1$. Такой результат не противоречит результатам испытаний на растяжение, сжатие, изгиб, кручение материалов с исходными технологическими дефектами (рис.4).

**Рисунок 4. Кривые длительной прочности при статическом нагружении керамики стеновых панелей на основе кембрийской глины при комнатной температуре в условиях: сжатия с σ=50 МПа (▲) и 70 МПа (Δ), изгиба с $\sigma_{макс}$=6…12 МПа (●), кручения с $\sigma_{макс}$=7…10 МПа (+) и растяжения с σ=5…10 МПа (□)**




Причем при $x=const$ разброс $\lg t$ или $\lg\sigma^2 t$ не превышает 1. Это обстоятельство позволяет прогнозировать долговечность после определения $L_o$ неразрушающим методом при заданной схеме нагружения изделия. Для этого дополнительно в условиях статического нагружения разрушают выборку образцов того же материала при неизменном $x_{обр} = \sigma/\sigma_o \approx 1.4$, регистрируют их долговечность $t$ (порядка 100 с) и рассчитывают среднее $t_{обр}$. На образцах того же материала экспресс-методом определяют $n$ для трещины сдвига [9]. Долговечность изделия в условиях статического нагружения при температуре испытания образцов рассчитывают по формуле

$$t_{изд} = t_{обр}\,(x_{обр}/x_{изд})^n$$

Известные способы оценки стойкости материала против эрозии различаются приемами ее инициирования [11,12,13] и регистрации поврежденности материала. Поврежденность оценивают по весовому

износу *Q* или его интенсивности $\dot{Q}$, по площади *S* поврежденной поверхности, по возникающей э.д.с. [14] или по акустической эмиссии (АЭ), связанной с разрушением [15]. В последнем случае предварительно на образцах выясняют, например, зависимость весового износа *Q* от числа N событий АЭ. Такую зависимость можно использовать для оценки поврежденности сооружения, взвешивание которого или осмотр поверхности затруднены, например, закрытый водосброс платины.

Наиболее близок к предлагаемому способ [16], включающий перемещение контртела по поверхности материала, регистрацию АЭ, определение весового износа *Q* материала и зависимости *Q* от числа N АЭ за период контроля. Связь между *Q* и N обусловлена тем, что число N пропорционально вновь образовавшейся поверхности *S* материала, а при неизменной форме и размеров частиц число N пропорционально также объему *V* и весу этих частиц.

Однако, как показали опыты, с увеличением интенсивности воздействия на материал форма и размеры отделяющихся частиц изменяется: они становятся более вытянутыми; одновременно увеличивается отношение *V/S* и *Q/S*. Это обстоятельство снижает точность прототипа и требует уточнения зависимости *Q* от параметров АЭ.

Цель предложенного способа - повышение точности определения износа материала по параметрам АЭ.

Цель достигают тем, что, как и в прототипе, перемещают контртело по поверхности материала и регистрируют АЭ. Но, в отличие от прототипа, предварительно образец материала нагружают циклически от нулевой в условиях сжатия, уже вызывающего эрозию с поверхности в виде чешуек [17,18], ступенчато повышают максимальную нагрузку циклов до появления АЭ после первой разгрузки образца на 80 %, после каждой ступени определяют потерю *Q* веса образца, число N событий акустической эмиссии, среднее значение $\dot{N}$ ее активности. По этим результатам находят зависимость отношения *Q*/N от $\dot{N}$, а о весовом износе материала в процессе эксплуатации судят по этой зависимости и соответствующим параметрам (N и $\dot{N}$) АЭ при перемещении контртела по поверхности изделия. Циклическое нагружение от нулевой до постоянной для данной ступени нагрузки, в отличие от выдержки при постоянной нагрузке [19], во-первых, после первого цикла исключает АЭ микрорастрескивания перенапряженных частиц материала внутри объема образца (эффект Кайзера: все, что могло, уже растрескалось при первом нагружении). Во-вторых, переход от статического к циклическому нагружению увеличивает скорость эрозии с поверхности, что сокращает время определения зависимости *Q*/N от $\dot{N}$ при низких уровнях силового воздействия (при низких напряжениях сжатия). В-третьих, появление АЭ после снижения максимальной нагрузки на 80 % предупреждает о предстоящем старте магистральной трещины [20] и позволяет избежать наложения АЭ магистральной трещины на АЭ эрозии. С увеличением интенсивности силового воздействия возрастает скорость развития трещин или микротрещин, отделяющих поверхностную частичку материала от его объема. В связи с этим возрастает и активность АЭ, что позволяет использовать среднее значение $\dot{N}$ как показатель интенсивности воздействия, а зависимость отношения *Q*/N от $\dot{N}$, полученную в условиях сжатия, использовать для оценки *Q* по N и $\dot{N}$ при других видах эрозии.

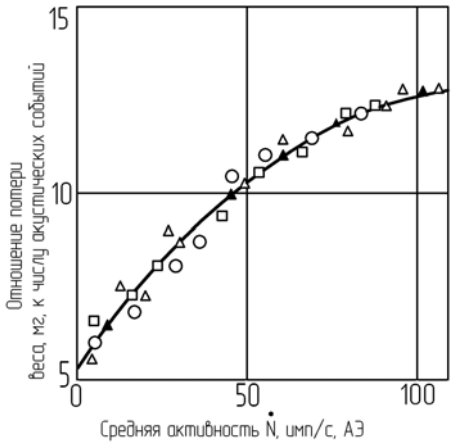



**Рисунок 5. Зависимость отношения веса Q мг, к числу акустических событий N от средней активности $\dot{N}$, имп/с, АЭ**

На рисунке 5 отражены результаты, полученные при одноосном сжатии четырех воздушно-сухих образцов бетона (Δ), при сжатии четырех водонасыщенных образцов бетона (▲), при истирании четырех пластин (о) и четырех таблеток в условиях микрокавитации (□).

Для проверки способа его реализовали на образцах мелкозернистого бетона в возрасте 28 дней, изготовленного из смеси одной весовой части (в.ч.) напрягающегося цемента [21], воды (1 в.ч.) и песка 0,15…1 мм (8 в.ч.). Для получения образцов смесь укладывали тромбованием в формы, выдерживали их 28 дней в воде комнатной температуры, а затем не менее 10 дней на воздухе. Полученный таким образом бетон имел пористость 3±0,5% и среднее значение предела прочности 25 МПа в условиях однородного осевого сжатия по методике, близкой к методике [18]. Торцы образцов для сжатия (диаметром *d*=10 мм и высотой *h*=30 мм) находились в соосных углублениях глубиной 5 мм обойм из стали ШХ-15 с наружным диаметром 40 мм. Акустические датчики устанавливали на торец верхней обоймы, а под нижнюю обойму подкладывали блюдце (поддон) диаметром 10 см из алюминиевой фольги. Вес отделившихся чешуек определяли взвешиванием их вместе с блюдцем (поддоном). Кроме образцов на сжатие, изготавливали образцы-пластины с размерами $20\times10\times3$ мм$^3$ и образцы-таблетки с *d*=18 мм и *h*=6 мм. Образцы-пластины подвергали истиранию смесью, состоящей из воды (1 в.ч.), кембрийской глины (3 в.ч.) и песка 0,15…1 мм (1 в.ч.); при этом использовали устройство [22], создавая в области контакта среднее давление 0,2 МПа. Акустический датчик устанавливали на поверхность $10\times20$ мм$^2$ образца-пластины. Потерю веса образца за известный период испытаний (2 часа) определяли взвешиванием образца на аналитических весах. На дно формы для образца-таблетки укладывали латунную сетку с ячейками ~1 мм$^2$ и с припаянной перпендикулярно сетки U-образной душкой. После заполнения такой формы на 5 мм на смесь укладывали диаметрально противоположно концы двух медных проводков-электродов и покрывали их еще слоем смеси толщиной 1 мм. После твердения таблетки сушили до постоянной массы при 105 ºС и на цилиндрическую поверхность наносили силиконовое покрытие заподлицо с двухэлектродным торцом и с коническим раструбом высотой 6 мм над латунной сеткой. В раструб заливали слой воды (2мм) и слой веретенного масла (6мм), в которое опускали торец акустического датчика. При испытаниях таблеток их подвешивали за душку, которую заземляли, а на электроды нижнего торца подавали напряжение промышленной частоты. Переменное электрическое поле возбуждало микрокавитацию [23] в порах [21] поверхностных слоев таблетки и осыпание частиц бетона на алюминиевую фольгу под таблеткой. Вес этих частиц определяли взвешиванием на аналитических весах после сушки при 105º С на алюминиевой фольге. Во всех опытах АЭ и ее параметры регистрировали с помощью прибора АФ-15. Выбор частотного диапазона производили на приборе [22] при трении пластины $20\times10\times3$ мм$^3$ из карбида кремния с нулевым водопоглощением об используемую смесь; в этом случае износ пластины за 40 минут, если и был, то составлял менее 0,001 г, а шумы трения удавалось удалить используя частотный диапазон 1…2 МГц. В таком диапазоне и проводили регистрацию АЭ при одноосном сжатии и микрокавитации.

Используя неразрушающий способ, можно определить $L_o$ изделия при различных схемах его нагружения и с учетом полученных результатов оптимально ориентировать изделие для дальнейшей эксплуатации [9, 10]. Такой приём позволяет повысить несущую способность изделия в несколько раз, а долговечность при заданном режиме нагружения – на несколько порядков.

Описанный прием определения $L_o$ позволяет контролировать кинетику разрушения, независимо от того, происходит ли снижение $L_o$ из-за: 1 – силового воздействия путем развития наиболее опасного дефекта (при $L>L_o$), 2 – или путем рассосредоточенного микрорастрескивания, которое снижает модуль *E*, а следовательно, $K_o$ и тем самым $L_o$; 3 – или снижением значения из-за коррозии, эрозии или поверхностно-активного вещества.

Как видно из рисунка 5, результаты, полученные при разных интенсивностях воздействия (различных $\dot{N}$), группируются вокруг общей аппроксимирующей кривой в пределах не более 15 %. Следовательно, погрешность оценки потери веса в условиях истирания и кавитации с использованием предложенного способа составляет около 30 %. Использование предложенного способа [24] ограничено возможностью разделения паразитных шумов и АЭ, связанной с разрушением. Пока не удалось решить эту задачу для оценки сопротивления царапанию.

**Литература**


1. Фаддеев И.П., Биржаков М.Б., Маслянко А.И., Хавия С.Л. Эрозия деталей паровых турбин.- Энергетическое машиностроение (НИИ информэнергомаш), 1982, №6.
2. Григорьева Е.Н. Разработка метода расчёта эрозии при фрезеровании горных пород гидроабразивным инструментом: автореф.дис.на соиск.учён.степ.к.т.н./ Тул.гос.ун-т.- Тула, 2006.- 18с.
3. Лагерев А.В. Эрозия паровых турбин: вероятностный подход: в 3т. Т.1. Вероятностный анализ эрозии паровых турбин: Монография/ А.В. Лагерев.- М.: Машиностроение – 1, 2006.- 267с.
4. Пул Ч., Оуэнс Ф., Нанотехнологии. М: Техносфера, 2005.- 335с.
5. Мелихов И.В. Физико-химическая эволюция наносистем //Актуальные проблемы нанотехнологий и наноматериалов. Тезисы докладов учёных РАН на Российско-Китайском семинаре (Китай, Пекин) – 2006, - с.29-31.

6. Кавешников А.Т. Кавитационная эрозия на элементах водопропускных гидротехнических сооружений. Монография./ Московский государственный университет природообустройства, М., МГУП, 2001, 158с.
7. Бормоткин В.О., Никольская Т.С., Никольский С.Г. Способ определения максимальной нагрузки, ещё не снижающей прочность изделия. // Сб. докл. II Междунар. конф. "Научно-технические проблемы прогнозирования надёжности и долговечности…".- СПб ГТУ,1997, с. 88-89.
8. Никольская Т.С., Никольский С.Г. Влияние температуры на пороговые параметры прочности керамики // С-Петербург. журн. электроники. –2001., № 1, с. 25-28.
9. Никольская Т.С. Особенности акустической эмиссии при частичной разгрузке керамического изделия //М.ж. Проблемы прочности, Киев, 2002., № 4, с. 140-147.
10. Никольская Т.С. Определение предельных значений пороговой нагрузки при изгибе опорного фарфорового изолятора // Сб. Трудов III Международн. конференция "Научно-технические проблемы прогнозирования надёжности и долговечности…", СПб.: Санкт-Петербург. гос. техн. ун-т, 1999., с. 51-52.
11. Ясь Д.С., Подмоков В.Б., Дяденко Н.С. Испытания на трение и износ. Киев: “Техника”- 1971.- 140с.
12. Склерометрия. Под редакцией Хрущева М.М.: Наука.-1968.-с.220
13. Пирсол И. Кавитация. М. Мирр.-1975.-95 с.
14. Авт.св. СССР №1420459 МКИ G 01 N 3/56. Способ контроля износа металлических поверхностей при контакте с влажной дисперсной системой. Барабанщиков Ю.Г. Опубликовано 30.08.88 в Бюл.32.
15. Рапопорт Л.С., Вайнберг В.Е., Воронина И.М. Применение метода АЭ для исследования процессов деформации и разрушения при трении и износе металлов// Зав. Лаборатория.-1981.-N 11.-С. 80-81
16. Калмыков Т.Ф., Свиреденок А.И., Холодилов С.В. К вопросу о спектре акустического излучения при трении полимеров// Сб. “IX Всес. акуст. конф., 1977 Секция В”. М.-1977.-С. 179-181.
17. Влияние размеров образцов на прочность электротехнического фарфора при осевом сжатии/ Ю.В. Добровольский, С.И. Лихацкий, С.Г. Никольский и др.// Проблемы прочности.-1983.- N 6.-С. 25-29.
18. Конструкционная прочность стекол и ситаллов/ Писаренко Г.С., Амельянович К.К., Козуб Ю.И. и др.- Киев: Наук.думка. 1979.-284 с.
19. Авт.св. СССР 95 8961, МКИ G 01 N 29/04 Способ имитации сигналов АЭ от дефекта в хрупком материале./ Ю.В. Добровольский, С.Г. Никольский, Г.М. Охрименко Заявлено 04.01.81 ЛПИ и ИПП АН УССР. Опубликовано 15.09.82 в Бюлл. №34.
20. Пат. 2305281 РФ,МКИ G01N 29/14 Способ контроля прочности изделия из хрупкого материала / С.Г. Никольский, Т.С. Никольская (РФ) ; ПНИПКУ ”Венчур” (РФ).- №2005131106; Заявлено 30.10.05; Опубл. 27.08.07; Бюл №24.- 3 с.
21. Строительные материалы. Учебник для студентов вузов/ Под ред. Г.И. Горчакова. - М.: Высшая школа, 1982.- 352 с.
22. Авт.св. СССР 1423961, МКИ G 01 N 33/38. Устройство для контроля и тарировки влагомера/ С.Г. Никольский. Заявлено 14.10.87, опубл. 15.09.88 в бюлл.№ 34.
23. Mole G. A meconism of water treeing in polyethylene insulation/ World Elektrotechnical congress in Moscow.1977. Sect. 3A, paper 64. P. 164.
24. Заявка №2007124615 Российская Федерация, Способ оценки стойкости хрупкого материала против эрозии / Никольская Т.С., Никольский С.Г.; Заявлено 22.06.2007. Пол. решение от 23.06.2008.


[1] Традиционная дефектоскопия не учитывает возможности изменения формы и размеров исходных дефектов в процессе нагружения, а тем более зарождения новых и более опасных дефектов. Косвенные методы контроля прочности, основанные на связи прочности с соотношением упругости и структурной вязкости (метод отскока, вдавливания, затухания ультразвуковых волн и т.д.), требуют предварительного выяснения этой статистической связи, весьма нестабильной и чувствительной не только к составу материала, но и к различным факторам технологии.

[2] Нанодиагностика – совокупность методов исследований, направленных на изучение механических электрофизических и других специфических характеристик наноматериалов и наносистем [4]. Наносистема – гетерогенная система, в которой элементы одной из фаз (жидкой, гозообразной, твёрдой) имеют размеры от 10 до 100 нм, хотя бы в одном направлении. [5]. Пластическую деформацию наносистемы регистрируют с помощью акустической эмиссии.

[3] В отличие от предела прочности $\sigma_{пч}$, или временного сопротивления $\sigma_в$, которые характеризуют кратковременную прочность.


** Сергей Григорьевич Никольский, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

*Тел. раб. 5527554, тел. моб. +79214235776*

# Современные способы борьбы с шумом в зданиях и на селитебных территориях

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

Шум несовместим с нормальным сном, учебным процессом, творческой работой, высопроизводительным трудом, полноценным отдыхом и лечением. Борьбой с шумом занимаются: на судах – судовая акустика [2, 3, 6, 8, 16, 19, 20, 24], на самолетах – авиационная акустика [9, 17], в автомобилях, поездах и строительных машинах – транспортная акустика [7, 31], на предприятиях – промышленная акустика [1, 4, 5, 9, 10, 11-13, 15], в зданиях и на территориях – строительная акустика [9, 14, 18, 21-23, 25, 26, 28]. Самая старшая и распространенная из них – строительная акустика, она касается постоянно большинства людей в мире.

Все перечисленные науки традиционно озабочены снижением шума: а) в источнике его возникновения, б) на пути распространения от источника к объекту шумозащиты и в) на самих объектах шумозащиты. Строительная акустика занята защитой от шума там, где живут, работают, учатся, лечатся и отдыхают миллионы людей. Снизить шум здесь можно наиболее эффективно на самих объектах шумозащиты.

Источниками интенсивного шума в жилых, общественных и промышленных зданиях и на селитебных территориях являются разнообразные машины, устройства и люди (авто-, авиа-, рельсовый и водный транспорт, инженерное оборудование зданий, громкая музыка, шумные соседи, двигатели внутреннего сгорания, вентиляторы, турбины и насосы, электромашины, трансформаторы и т.д.). При проектировании, строительстве и эксплуатации зданий необходимо четко представлять себе все современные способы борьбы с шумом с целью их рационального применения для данного конкретного случая. Но в любом случае должны быть приняты лучшие решения с учетом достижений в продвинутых областях – в судовой, авиационной, транспортной и промышленной акустиках. Данная статья посвящена анализу современных способов борьбы с шумом и разработке соответствующих эффективных рекомендаций для инженера-строителя.

Начнем с определения сущности и эффективности основных способов снижения шума машин. Под термином «машина» здесь обозначены все машины, механизмы и производственное оборудование. Акустическим коэффициентом мощности машины назовем отношение звуковой мощности $W$, Вт, излучаемой во внешнюю среду машиной, к её функциональной мощности $W_M$, Вт, создаваемой или потребляемой этой машиной, $\eta_A = W / W_M$.

Наибольшим акустическим коэффициентом мощности обладают такие устройства, как громкоговорители. Если, например, функциональная мощность громкоговорителя $W_M$ = 10 Вт, а уровень излучаемой звуковой мощности в лучшем случае равен 117дБ ($N = 0{,}5Bm$), то акустический коэффициент $\eta_A = 0{,}05(5\%)$. Эти устройства созданы специально для звукоизлучения, но их функциональная мощность по сравнению с мощностью машин мала.

Один из наиболее распространенных и типичных источников шума машин – двигатель внутреннего сгорания. Уровень мощности внутри цилиндра дизеля равен примерно 220 дБ (10 000 000 000 Вт). Излучаемая корпусом звуковая мощность такого дизеля на средних частотах равна 120 дБ ($W = 1Bm$). Мощность на выходном валу ориентировочно $W_M = 1000000Bm$. Акустический коэффициент мощности здесь $\eta_A = 10^{-6}(0{,}0001\%)$. Несмотря на очень малый $\eta_A$ звуковая мощность машин может значительно превысить звуковую мощность самого большого высокоэффективного громкоговорителя.

Физический механизм звукоизлучения машины, например дизеля, может быть представлен схематически следующим образом. Вынужденная переменная сила $F(t)$, определяемая функциональной мощностью $W_M$, вызывает в некоторой части машины внутри нее в точке «1» колебательную скорость $v_1(t)$. Внутренний механический импеданс в этой точке:

$$Z_M = F(t) / v_1(t).$$

От действия указанной силы на поверхности машины в точке «2» возникают колебания со скоростью $v_2(t)$, в результате чего излучается звуковая мощность $W$. Пусть колебания в точках «1» и «2» связаны посредством коэффициентом передачи (передаточная функция) $a_M$ линейной зависимостью $v_2 = a_M v_1(t)$. Тогда звуковая мощность, излучаемая поверхностью машины вблизи точки «2», запишется в виде:

$$W = \rho c\, v_2^2(t)\, S\, \gamma \quad ,$$

где $\rho c$ – импеданс среды вокруг машины,

$S$ – площадь излучения вблизи точки «2»,

$\gamma$ – коэффициент излучения, равный отношению интенсивности звука, излучаемого поверхностью машины вблизи точки «2», к интенсивности звука, излучаемого колеблющимся поршнем с той же площадью $S$ и той же скоростью $v_2(t)$. В результате получаем важную для нас формулу звуковой мощности машины:

$$W = \frac{F(t)^2\, a_M^2}{Z_M^2}\, S\, \rho\, c\, \gamma$$

Проанализируем, исходя из этой формулы, первые шесть основных способов снижения шума.

**Первый способ** состоит в уменьшении вынуждающих сил $F(t)$. Однако технический прогресс обуславливает постоянный рост мощности и скоростных параметров машин, что приводит к увеличению вынуждающих сил. Сокращение допусков, балансировка и другие мероприятия по совершенствованию машины снижает действие этих сил, но, как правило, в меньшей степени, чем происходит их рост от увеличения мощности и скоростных параметров. Былые упования на борьбу с шумом в источнике его возникновения в качестве кардинального решения проблемы пока не оправдываются.

**Второй способ** снижения шума машин состоит в увеличении внутреннего механического импеданса $Z_M$. Этот способ также противоречит тенденции технического прогресса, но уже другой. Эта тенденция состоит в сокращении материалоемкости и уменьшении массы машины, что приводит к увеличению вибровозбудимости: уменьшается $Z_M$, и как следствие увеличивается шум машины. Таким образом, увеличение внутреннего механического импеданса, даже в своем простейшем виде – путем увеличения массы машин, бесперспективно. По причине роста вынуждающих сил и снижения материалоёмкости шум машин растет.

**Третий способ** состоит в уменьшении передачи звуковых колебаний от места возбуждения к месту излучения, то есть в уменьшении коэффициента передачи $a_M$ благодаря виброизоляции. Здесь имеются два пути применения виброизоляции: внутренний и внешний. Применение внутренней виброизоляции не находит какого-либо серьезного применения ввиду трудности совместить её с прямым функциональным назначением машины. А вот внешняя виброизоляция машин широко используются для снижения структурного звука, например на судах. В зданиях (особенно высотных и элитных) этот вид звукоизоляции, безусловно, перспективен, например, в виде звукоизолирующих амортизаторов и вибропрокладок для изоляции структурного звука машин, устройств и инженерных систем. Традиционно он применяется для изоляции ударного шума в междуэтажных перекрытиях.

**Четвертый способ** состоит в уменьшении излучаемой поверхности $S$. Это иногда удается сделать путем уменьшения габаритных размеров машины (вместо одной большой машины – много малых машин) или использования решетчатого корпуса машины вместо сплошного. Уменьшение излучающей поверхности имеет ограниченное, но реально-эффективное применение. Например, перфорированием поверхности стола высокочастотного вибростенда можно заметно уменьшить излучаемую им звуковую мощность. Из-за простоты применения четвертый способ всегда надо иметь в виду.

**Пятый способ** состоит в уменьшении импеданса окружающей среды, то есть величины $\rho c$ (произведение плотности среды на скорость звука в среде). Замена воздуха другим газом неэффективна, так как разница импедансов различных газов в этом случае практически незначительна. Можно сильно уменьшить импеданс окружающей среды, лишь поместив машину в сильно разреженный воздух. Но в земных условиях это очень дорогой способ снижения шума. Однако в специальных вакуумных звукоизолирующих конструкциях (например, в теплозвукоизолирующих иллюминаторах) и в космических аппаратах (путем выноса шумных агрегатов наружу) он уже находит реальное применение.

**Шестой способ** состоит в уменьшении коэффициента излучения $\gamma$. Это можно сделать, установив вокруг машины звукоизолирующую оболочку. В последние годы для многих сложных машин инженеры разработали совершенные, в том числе и с эргономической точки зрения, ограждающие оболочки (например, корпус для многооперационных станков с программным управлением). К еще более совершенным оболочкам можно отнести корпуса самолетов, вертолетов, судов с динамическими принципами поддержания, легковых автомашин, цельнометаллических пассажирских вагонов. Инженеры-акустики взяли эти оболочки в качестве основы для создания эффективной и удобной звукоизоляции машин и устройств различного назначения. Обобщая, можно сказать, что шестой способ – главный для снижения шума из всех предыдущих способов.

**Седьмой способ**. При рассмотрении седьмого и восьмого способов снижения шума обратимся к ключевой формуле строительной акустики [28]. Эта формула для уровней звука $L_p$, дБ, в расчетной точке на расстоянии $r$,м, от источника шума мощностью $W$,Вт; $\alpha$ среднего коэффициента звукопоглощения ограждающего помещения; $S_П$,м$^2$, площади ограждающих поверхностей; $L_Н$, $дБ$, норма допустимого шума в расчетной точке; может быть представлена в виде:

$$L_p = 10\lg\left[W\left(\frac{1}{2\pi r^2}+\frac{4(1-\alpha)}{\alpha S_П}\right)\right] \le L_Н$$

Из формулы, в частности, следует, что мощность шума источника $W$ уменьшается в свободном полупространстве пропорционально квадрату расстояния $r$. Поэтому, если имеется необходимое большое расстояние от источника шума до человека, то седьмой способ – самый простой и эффективный. Однако в условиях современного города его удается применить редко, так как свободного пространства здесь часто нет, или оно стоит очень дорого. Но всегда следует помнить о том, что кардинально решить проблему шумового воздействия на человека можно, удалив его подальше от источников шума (например, сейчас престижно жить в загородном доме вдали от шума городского).

**Восьмой способ** состоит, как это также следует из вышеуказанной ключевой формулы, в увеличении звукопоглощения в окружающей человека среде – среднего коэффициента звукопоглощения ограждающих поверхностей помещения $\alpha$. Эта величина имеет также определяющее значение для качества акустики зала. Но для снижения шума в помещении, хотя её роль здесь качественно обязательна (без звукопоглощения невозможно реализовать звукоизоляцию), звукопоглощение само по себе количественно мало влияет на снижение шума. Коэффициент звукопоглощения $\alpha$ можно изменить в реальных конструкциях лишь в небольших пределах, а именно от 0,1 до 0,7, то есть максимум в 7 раз (в отличие от звукоизоляции $R, дБ$, которую конструктор вправе изменить максимально в пределах примерно 60 дБ, то есть по интенсивности звука в 1 000 000 раз!). Таким образом, для защиты людей от шума в первую очередь и главным образом для инженера-строителя важна звукоизоляция. Однако специалист не должен исключать применение и других указанных выше способов снижения шума.

С целью наиболее эффективного решения задач строительной акустики, в частности при строительстве современного жилья (см. Приоритетный национальный проект «Доступное и комфортное жильё – гражданам России» www.rost.ru), из вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

## *Выводы*

Борьбу с шумом в жилых, общественных и промышленных зданиях и на селитебных территориях рекомендуется осуществлять инженеру-строителю с учетом достижений в других областях техники (судовая, авиационная, транспортная и промышленная акустики), а именно в виде:

1) звукоизоляции ограждающих помещение конструкций зданий (стен, пола, потолка, окон и дверей);

2) звуковиброизоляции и звуковибропоглощении машин, устройств и инженерных систем в зданиях;

3) звукоизоляции и звукопоглощения системы вентиляции и кондиционирования воздуха в зданиях;

4) звукоизолирующих кабин управления и комнат для конфиденциальных переговоров;

5) акустических (шумозащитных) экранов на внешних магистралях и внутри помещений в зданиях;

6) звукоизолирующих (шумозащитных) домов;

7) звуковиброизоляции камер для стандартных акустических измерений звукоизоляции, звукопоглощения, виброизоляции и вибропоглощения.

Эффективность звукоизоляции и звукопоглощения, виброизоляции и вибропоглощения определяется по национальным, европейским или международным стандартам [28]. Результаты этого определения должны быть указаны в нормативно-технической строительной документации на здание и сооружение.

Осуществлению вышеуказанных рекомендаций по снижению шума посвящена представленная ниже литература по этой проблеме [25-32], которую лучше всего получить в оцифрованном виде в трех отечественных книгохранилищах: Российской государственной библиотеке, Российской национальной библиотеке и Президентской библиотеке имени Бориса Ельцина. Литературу [1-24] рекомендуется использовать инженером-строителем как дополнительную. Всю литературу [1-32] удобно разместить в компьютере инженера-строителя в качестве справочного материала. Однако без высококвалифицированного специалиста-акустика иногда бывает очень трудно представить заказчику нужное решение. Автор статьи готов

оказать необходимые консультации и дать мастер-классы по вопросам эффективного применения всех способов борьбы с шумом в жилых, общественных и промышленных зданиях и на селитебных территориях.

В настоящее время готовится к изданию новая книга автора данной статьи под названием «Акустика жилых, общественных и промышленных зданий (Строительная акустика)». Книга содержит изложение научных основ строительной акустики и растолкование их инженерных применений с помощью домашних заданий. Имеет цель научить решению двух главных задач: снижению шума до нормы в современных зданиях и обеспечению в них качественной акустики помещений. В книге уделено должное внимание соответствующим национальным стандартам РФ, Международным стандартам ISO и IEC, Европейским стандартам EN. Приведен полный перечень более 630 указанных стандартов и даны рекомендации по их рациональному использованию.

Книга главным образом предназначена:

а) для студентов и аспирантов строительных специальностей политехнических высших учебных заведений и соответствующих факультетов других вузов России и стран ближнего зарубежья;

б) для инженеров, архитекторов, научных работников, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией зданий различного назначения, планировкой и застройкой населенных мест с целью защиты от шума и обеспечения нормативных параметров акустической среды в зданиях и на территории жилой застройки;

в) для санитарных врачей, работников экологических служб и коммунального хозяйства городов, областей, краев и республик РФ, занимающихся вопросами борьбы с шумом в зданиях и акустикой залов;

г) для всех жителей городов и весей нашего Отечества и русского зарубежья, страдающих от шума и акустического дискомфорта и активно желающих эти страдания и дискомфорт прекратить.

Книга прошла рецензирование: заведующим кафедрой технологии, организации и экономики строительства инженерно-строительного факультета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, профессором, д.т.н. Ватиным Н.И.(рецензия утверждена деканом инженерно-строительного факультета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, профессором, д.т.н. Альхименко А.И); заведующим кафедрой физики факультета естественнонаучного и гуманитарного образования Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, профессором, д.ф.-м.н. Легушей Ф.Ф.; главным научным сотрудником Центрального научно-исследовательского института им. академика А.Н. Крылова, профессором, д.т.н., заслуженным деятелем науки и техники РФ Попковым В.И.

**Литература**


1. Славин И.И. Производственный шум и борьба с ним. Издательство ВЦСПС. Профиздат.1955.
2. Боголепов И.И., Авферонок Э.И. Звукоизоляция на судах. Л., 1970.
3. Клюкин И.И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах. Л., 1971.
4. Шумоглушение. Тематический сборник научных трудов / Под общей редакцией И.И. Боголепова и Д.А. Мателенка. М., 1976.
5. Витринский И.М., Корчма М.В., Трандина З.В. Применение общеинженерных решений, способствующих уменьшению шума кузнечно-прессовых машин. Методические рекомендации. НИИ институт информации по машиностроению. М., 1977.
6. Справочник по судовой акустике / Под общей ред. И.И. Клюкина и И.И. Боголепова. Л., 1978.
7. Иванов Н.И. Борьба с шумом и вибрациями на путевых и строительных машинах. М.,1979.
8. Никифоров А.С. Вибропоглощение на судах. Л., 1979.
9. Справочник по технической акустике / Под ред. М. Хекля и Х.А. Мюллера. Л., 1980.
10. Григорьян Ф.Е., Перцовский Е.А. Расчет и проектирование глушителей шума энергоустановок. Л., 1980.
11. Контроль шума в промышленности. Предупреждение, снижение и контроль промышленного шума в Англии /. Под ред. Дж. Вебба. Пер. с английского языка под ред. И.И. Боголепова. Л., 1981.
12. Филатов В.И., Мясников В.В. Рекомендации по снижению шума в цехах литья, экструзии и прессования полимерных материалов. Л., 1982.
13. Борьба с шумом на производстве / Под ред. Е.Я. Юдина. М., 1985.
14. Ковригин С.Д., Крышов С.И. Архитектурно-строительная акустика. Москва, 1986.

15. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. Теория, исследования, проектирование, изготовление, контроль. Предисловие академика АН СССР И.А. Глебова. Монография. Л., 1986.
16. Клюкин И.И. Физико-технические основы виброизоляции механизмов и другого виброактивного оборудования. Ленинградский ордена Ленина кораблестроительный институт. Л., 1986.
17. Авиационная акустика. В двух частях: Часть 1. «Шум на местности дозвуковых пассажирских самолетов и вертолетов» и Часть 2. « Шум в салонах пассажирских самолетов» / Под ред. А.Г. Мунина. М., 1986.
18. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Под ред. Г.Л. Осипова и Е.Я. Юдина. М., 1987.
19. Изак Г.Д., Гомзиков Э.А. Шум на судах и методы его уменьшения. М.,1987.
20. Никифоров А.С. Акустическое проектирование судовых конструкций. Л., 1990.
21. Справочник проектировщика. Защита от шума в градостроительстве. Под ред. Г.Л. Осипова. М., 1993.
22. Никифоров А.С., Иванов Н.И. Проблема акустического загрязнения в Санкт-Петербурге // Концепция развития Санкт-Петербурга на ближайший и отдаленный периоды с расстановкой приоритетов, основанных на общественном согласии: Материалы третьего съезда Санкт-Петербургского Союза научных и инженерных обществ. СПб, 1996. Т. 1.
23. Овсянников С.Н. Распространение звуковой вибрации в гражданских зданиях. Томск, 2000.
24. Ионов А.В. Средства снижения вибрации и шума на судах. СПб, 2000.
25. Боголепов И.И. Высокоэффективная звукоизоляция XXI века // Наука, промышленность, сельское хозяйство и культура в Санкт-Петербурге и Ленинградской области на пороге XXI века: Материалы четвертого съезда Санкт-Петербургского Союза ученых, инженеров и специалистов производства. СПб, 2000. Т. 2.
26. Щевьев Ю.П. Физические основы архитектурно-строительной акустики. Учебное пособие. СПб, 2001.
27. Л.Г. Осипов, В.Н. Бобылев, Л.А. Борисов и др. Звукоизоляция и звукопоглощение. Учебное пособие для студентов вузов / Под ред. Г.Л. Осипова, В.Н. Бобылева. М., 2004.
28. Боголепов И.И. Строительная акустика. Предисловие академика РАН Васильева Ю.С. СПб, 2006.
29. Боголепов И.И., Лапшина О.В. и Окладникова О.Н. Предложения по совершенствованию аттестации устройства для измерения звукоизоляции строительных конструкций // Научно-технические ведомости, 4-1(52) / 2007. СПб, 2007.
30. Боголепов И.И. Новый метод акустического расчета системы вентиляции и кондиционирования воздуха зданий // С.О.К. (сантехника, отопление, кондиционирование), № 2, 2008. М., 2008.
31. Иванов Н.И. Инженерная акустика. М., 2008
32. Боголепов И.И. Вакуумные звукоизолирующие конструкции // Инженерно-строительный журнал, № 1 2008. СПб, 2008.

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

*Тел. раб. 297-59-49, 535-79-92*

*Эл. почта igor.bogolepov@mail.ru*

# К вопросу о долговечности и энергоэффективности современных ограждающих стеновых конструкций жилых, административных и производственных зданий

***К.ф.-м.н., заместитель директора по науке ОАО СПбЗНИиПИ (ранее ЛенЗНИИЭП) М.В. Кнатько,***
***к.в.н., старший научный сотрудник ООО НТЦ «Технологии XXI века» М.Н. Ефименко,***
***к.т.н., доцент ГОУ СПбГПУ А.С. Горшков****

Начиная с середины 90-х годов в нашей стране разрабатывалась и внедрялась программа повышения энергоэффективности возводимых зданий. После введения изменений № 3 к СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника» и последующей его заменой на СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» требуемое приведенное значение сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций было повышено в 2,5÷3 раза. В связи с этим в нашей стране существенным образом изменился перечень строительных материалов, используемых при возведении ограждающих стеновых конструкций.

Почти троекратное увеличение численного значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций привело к тому, что многие традиционные, проверенные временем и климатическими условиями нашей страны, материалы (такие как кирпич, керамзитобетон, полистиролбетон, изделия из дерева - брус и бревно, - применяемые в основном при строительстве загородного жилья, вермикулит и некоторые другие) стали менее востребованными в жилищном строительстве.

На смену традиционным строительным материалам пришли эффективные теплоизоляционные материалы (в основном, минеральная и стеклянная вата, экструдированный и блочный пенополистирол), долговечность которых в условиях эксплуатации в большинстве климатических районов нашей страны многими специалистами подвергается сомнению. Данное заключение основывается как на многолетней практике использования теплоизоляционных материалов в энергетике (теплоизоляция трубопроводов горячей воды), так и на основании результатов лабораторных исследований [1-3].

Почему проблемы долговечности материалов, используемых в стеновых конструкциях, столь актуальны в настоящее время? В первую очередь, из-за экономии энергоресурсов. Дело в том, что вычисляя экономические последствия применения тех или иных материалов в конструкциях стен, принято считать только эксплуатационные затраты. В этом смысле, безусловно, чем выше уровень теплозащиты ограждающих конструкций, тем эксплуатационные затраты ниже. Однако в настоящее время не существует методики расчета амортизационных издержек на проведение последующих ремонтов фасадов зданий с различными типами стеновых конструкций. А это тоже затраты, и затраты значительные.

Если каждые 20÷30 лет необходимо будет производить капитальный ремонт стеновых конструкций, демонтаж и последующий повторный монтаж фасадных конструкций, то сэкономленные в результате энергосбережения средства могут быть частично или полностью израсходованы на производство работ по капитальному ремонту ограждающих конструкций. При этом все эти работы в реальности представляют собой не что иное, как затраты энергии: на производство новых материалов, на доставку материалов к объекту, на обслуживание строительной техники и т.д. Если к ним добавить необходимость последующей утилизации полимерных материалов, содержащих в своем составе вредные для окружающей среды вещества, то экономия энергии от применения энергоэффективных, но недолговечных материалов может стать отрицательной, то есть убыточной. В настоящее время производители не могут утвердительно ответить на вопрос, как и куда можно безопасно утилизировать их продукцию и сколько это будет стоить.

Таким образом, срок службы строительных материалов, применяемых в многослойных стеновых конструкциях, должен обеспечивать экономическую эффективность, достигаемую как сокращением теплопотерь, так и сокращением затрат на проведение последующих капитальных ремонтов зданий.

Экономический анализ текущей стоимости теплоизоляционных материалов и стоимости работ по возведению ограждающих конструкций с их использованием показывает, что при долговечности материалов и конструкций меньше 50 лет затраты на ремонт многослойных стеновых конструкций (демонтаж стеновой конструкции, утилизация и замена утеплителя, повторный монтаж креплений и фасадных элементов) превышают ожидаемую экономию средств от снижения расходов на отопление при эксплуатации.

При этом производители строительных материалов не несут ответственности за декларируемый ими срок службы выпускаемых материалов, строители несут ответственность в течение незначительного периода времени с момента ввода здания в эксплуатацию (не более 5 лет). Это означает, что все расходы, связанные

с капитальным ремонтом наружных ограждающих конструкций, ложатся в полном объеме на собственников жилья и государство.

В связи с этим, представляется необходимым внедрение и совершенствование общероссийских методик определения срока службы строительных материалов и конструкций. Это позволит всем участникам рынка строительных материалов и строительства работать в единых условиях определения качества и назначения продукции.

Кроме того, в соответствии с законом РФ «О правах потребителей», требуется разработать нормативные документы, обязывающие информировать потребителей о сроке службы применяемых материалов и, соответственно, сроке безремонтной эксплуатации здания. Требуется обязать производителей стройматериалов указывать в сертификатах качества эксплуатационный срок службы (долговечность) выпускаемых ими материалов при их использовании в соответствии с техническими условиями, а в паспортах зданий – межремонтный эксплуатационный период.

При этом следует добавить, что требования по долговечности ограждающих конструкций в основном необходимо строго соблюдать в отношении жилых зданий. Что касается строительства крупных торговых центров, складов, закрытых автостоянок и автосалонов, производственных помещений и подобных им зданий и сооружений, то для них срок службы в 50 и более лет зачастую не является экономически обоснованным условием их возведения и эксплуатации, в связи с чем вышеперечисленные требования к обеспечению минимально допустимой долговечности материалов и конструкций для перечисленных выше зданий могут быть необязательными.

Особое внимание следует уделить качеству применяемых в стеновых конструкциях теплоизоляционных материалов и качеству монтажных работ при их возведении. В работе [4] по этому поводу отмечается, что многослойные теплоизоляционные фасадные системы (WDVS), возведенные с нарушениями требований при монтаже, уже на 2÷3 году эксплуатации требуют проведения ремонтных работ. В работе [5] в качестве основных проблем подобных ограждающих конструкций выдвигается низкое качество работ и применение низкокачественных материалов.

**Таким образом, долговечность (эксплуатационный срок службы) той или иной стеновой конструкции зависит не только от качества и состава используемых материалов, но также от качества монтажных работ и обеспечения нормальных условий эксплуатации. Следует отметить также, что перечисленные выше недостатки стеновых конструкций, а также недостаточная долговечность теплоизоляционных материалов, относятся не ко всем многослойным ограждающим конструкциям и не ко всем материалам, используемым при их возведении.**

Не таким простым оказывается и вопрос экономического обоснования при выборе ограждающих стеновых конструкций. В работе [6] в частности отмечается, что критерии энергетической эффективности, применимые для развитых стран Западной Европы и Северной Америки не всегда оказываются экономически целесообразными для нашей страны. Этому способствуют высокая стоимость теплоизоляционных материалов в нашей стране и низкая по сравнению со странами Европы и Америки стоимость электроэнергии, а в случае использования заемных средств - высокий уровень ставки рефинансирования. Автором [6] при текущей стоимости теплоизоляционных материалов и текущей стоимости электроэнергии, установившихся в нашей стране на текущий момент времени, на конкретных примерах было показано, что период окупаемости средств на дополнительное утепление стеновых ограждающих конструкций часто превышает прогнозируемый срок службы утеплителей.

Все это говорит о том, что нельзя полностью отказываться от использования в практике строительства традиционных строительных материалов. По крайней мере, до тех пор, пока современные многослойные системы утепления фасадов не подтвердят на практике свою состоятельность в вопросе обеспечения требуемой долговечности (эксплуатационного срока службы).

Каким образом тогда можно применять долговечные, но менее эффективные в теплотехническом отношении материалы?

Для этого достаточно пересмотреть требования, заложенные в СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

В настоящее время в СНиП 23-02-2003 установлены три показателя тепловой защиты здания:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания (определяется по табл. 4 в зависимости от численного значения градусо-суток района строительства);

б) санитарно-гигиенический, включающий температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций и температуру на внутренней поверхности выше температуры точки росы;

в) удельный расход тепловой энергии на отопление здания (принимается по табл. 8, 9 в зависимости от назначения здания, отапливаемой площади и этажности).

При этом требования тепловой защиты здания считаются выполненными, если в жилых и общественных зданиях будут соблюдены требования показателей «а» и «б» либо «б» и «в».

Неэффективность этих требований заключается в том, что при выполнении требований по показателю «а» отсутствует необходимость в выполнении требований по показателю «в», и каким будет фактический удельный расход тепловой энергии на отопление здания, уже никого не интересует. А это означает, что отсутствует необходимость внедрения какого-либо инженерного оборудования, позволяющего повысить энергоэффективность зданий, чем и пользуются многие проектные и строительные организации, вынужденно делая свой выбор в пользу тех или иных материалов.

К чему приводит такой подход, известно на примере зданий постройки начала XX века, в которых был произведен капитальный ремонт, в том числе, дополнительное утепление всех ограждающих конструкций. В зданиях с кирпичными стенами дополнительное утепление привело к тому, что фактическое сопротивление теплопередаче стен стало достигать 4, а то и 5 °С·м$^2$/Вт. А систем автоматического регулирования подачи тепла проектом предусмотрено не было. В результате чего в зданиях в зимний период эксплуатации стал происходить регулярный «перетоп». В результате почти всю зиму люди сидят на работе с открытыми окнами и «топят улицу».

Все это показывает необходимость внедрения комплексного подхода к сокращению теплопотерь зданий, учитывающего, в том числе, расход тепловой энергии на подогрев вентиляционных и инфильтрационных потоков воздуха. В связи с этим более эффективным представляется потребительский подход к уровню теплозащиты ограждающих конструкций, а именно нормирование удельного расхода тепловой энергии всего здания с учетом расхода тепловой энергии как на отопление, так и на вентиляцию и кондиционирование воздуха. Данный подход, осуществляемый за счет развития эффективных инженерных систем зданий, позволит расширить перечень материалов, используемых в строительстве ограждающих конструкций.

Обязательно во всех зданиях должны быть установлены приборы контроля расхода тепловой энергии, а также устройства автоматического регулирования подачи тепла. Мероприятия по энергосбережению необходимо предусматривать уже на стадии проектирования, комплексно применяя новейшие технические решения и разработки.

Для контроля над выполнением требований по энергоэффективности при сдаче объектов в эксплуатацию необходимо протапливать их в течение определенного периода времени (например, в течение одного-полутора месяцев), за рассматриваемый период подсчитать по показаниям приборов учета тепловой энергии удельный расход тепла и сравнить полученное значение удельного показателя с нормируемым. В случае превышения фактического значения над нормируемым ответственная за объект строительная организация должна выполнить комплекс дополнительных мероприятий, в основном касающихся систем инженерного обеспечения, внедрение которых обеспечит выполнение нормативных требований по энергоэффективности. При этом эти дополнительные работы должны быть заранее предусмотрены в проекте.

**В дальнейшем с целью поэтапного снижения тепловых потерь зданий необходимо постепенно (например, каждые 5÷10 лет), по мере комплексного внедрения энергосберегающих мероприятий и анализа результатов их апробации в реальных условиях эксплуатации, осуществлять снижение нормируемых показателей удельного расхода тепловой энергии.**

Только таким образом представляется возможным решить проблему энергоэффективности в нашей стране. К этому времени уже будет накоплен определенный опыт эксплуатации зданий с повышенным уровнем теплозащиты ограждающих конструкций. Станет ясно, какие конструкции стенового ограждения и в каких климатических регионах применять действительно эффективно и экономически обоснованно, а от каких следует отказаться.

**Литература**

1. Бессонов И.В. Исследование стойкости фасадных систем наружного утепления с тонким штукатурным слоем к температурно-влажностным воздействиям // Сборник «Труды I Всероссийской научно-технической конференции» (Строительная теплотехника: актуальные вопросы нормирования). СПб., 2008. С. 199-207.
2. Бессонов И.В. Фасады тонкие, но стойкие… // Строительство, №10, 2008. С. 123-125.
3. Ясин Ю.Д., Ясин В.Ю., Ли А.В.. Пенополистирол. Ресурс и старение материала. Долговечность конструкций // Строительные материалы, №5. М., 2002. С. 33-35.
4. Лобов О.И., Ананьев А.И. Долговечность облицовочных слоев наружных стен многоэтажных зданий с повышенным уровнем теплоизоляции // Строительные материалы, №4. М., 2008. С. 56-59.

5. Новиков А.В. Некоторые аспекты управления качеством при производстве работ по наружному утеплению фасадов зданий с применением «мокрых» тонкослойных систем // ССК. Стены и фасады, № 2-3 (17-18), 2002.

6. Гагарин В.Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Сборник «Труды I Всероссийской научно-технической конференции» (Строительная теплотехника: актуальные вопросы нормирования). СПб., 2008. С. 24-62.

*Александр Сергеевич Горшков, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

*Тел. раб. 335-05-16 (доб. 313)*

*Эл. почта alsgor@yandex.ru*

# Экономический эффект при повышении уровня разработки и реализации проекта строительства АЭС

***Д.т.н., профессор ГОУ СПбГПУ В.З. Величкин*, инженер В.М. Махонин***

При функционировании системы управления качеством разрабатываемого и реализуемого проекта строительства АЭС достигается сокращение издержек на изыскание и проектирование, сокращение объема проектной продукции, повышение технического уровня проектных разработок, сокращение сроков строительства и ввода в эксплуатацию, а также снижение базисной (расчетной) сметной стоимости. Достигаемый эффект при работе органов заказчика по управлению качеством проекта и его реализации может оцениваться годовым экономическим эффектом по трем основным направлениям:

- повышение экономического уровня проекта;
- повышение эффективности принимаемых в проекте технических и конструктивных решений, проектируемой техники и оборудования;
- повышение качества проектных решений, технологии и организации строительства.

Суммарный экономический эффект, получаемый в результате повышения уровня разработки и реализации проекта, можно рассчитать по формуле:

$$Э^{ук} = Э^{пр} + Э^{т} + Э^{стр},$$

где $Э^{ук}$ – годовой экономических эффект, получаемый в результате повышения экономического уровня проекта при функционировании системы управления качеством в органах заказчика;

$Э^{пр}$ — годовой экономический эффект при повышении качества проектных, конструкторских и изыскательских работ;

$Э^{т}$ - годовой экономический эффект, возникающий при повышении эффективности проектируемой техники и оборудования (реактора, машин, механизмов и др.);

$Э^{стр}$ - годовой экономический эффект при повышении качества проектных решений, технологии и организации строительства.

Годовой экономический эффект $Э^{пр}$ возникает за счет снижения издержек на изыскания и проектирование, за счет снижения объема и состава проектной продукции, за счет эффективности выполнения проектных работ. Он может быть определен по формуле

$$Э^{пр} = \sum_{i=1}^{m} (V^{д}_{npi} - V^{n}_{npi}),$$

где $V^{д}_{npi}$ и $V^{n}_{npi}$ — объем проектных, конструкторских и изыскательских работ по i -ой части проекта в тыс. руб., выполняемых в год в обычном (эталонном) порядке и с учетом проработок заказчика по управлению качеством проекта;

$m$ — число разрабатываемых проектов в год.

Годовой экономический эффект $Э^{т}$, возникающий при повышении эффективности и новизны проектируемой техники и оборудования, учитывается как результат воздействия системы управления качеством проекта. Эффективность проектируемых и создаваемых технологических и технических конструкций, агрегатов, машин, узлов и др. может оцениваться по формуле

$$Э^{т} = \sum_{j=1}^{nд} З^{д}_{j} \times K^{д}_{j} - \sum_{j=1}^{nn} З^{n}_{j} \times K^{n}_{j},$$

где $З^{n}_{j}$ и $З^{д}_{j}$ — приведенные годовые затраты по j -му образцу техники с учетом и без учета воздействия системы управления качеством проекта, тыс. руб.;

$K_j^n$ и $K_j^д$ — количество предусматриваемых в проекте элементов по j — му образцу техники с учетом и без учета воздействия системы управления качеством проекта, шт.;

$nn$ и $nд$ — количество видов образцов техники, включаемых в проект с учетом и без учета воздействия системы управления качеством проекта.

Приведенные годовые затраты $З^n$ и $З^д$ определяются по известным формулам

$$З_j^n = C_j^n + E_н \times K_j^n, \quad З_j^д = C_j^д + E_н \times K_j^д,$$

где $C_j^n$ ($C_j^д$)- текущие годовые (эксплуатационные) издержки по j – му образцу техники, тыс. руб.;

$K_j^n$ ($K_j^д$) – единовременные затраты на проектирование и создание j-го образца техники, тыс. руб.;

$E_н$ — принимаемый нормативный коэффициент эффективности образца разрабатываемой техники (часть единовременных затрат, окупаемых за один год эксплуатации).

Годовой экономический эффект $Э^{стр}$, возникающий при повышении качества проектных решений, технологии и организации строительства, определяется как сумма ряда составляющих эффектов

$$Э^{стр} = Э^{нс} + Э^{дз} + Э^{вр} + Э^{дир} + Э^{пир} + Э^{пз} + Э^{сс},$$

где $Э^{нс}$ — годовой экономический эффект, обусловленный уменьшением объема незавершенного строительства;

$$Э^{нс} = НС_н \times (1 - \frac{T}{T_н}) \times К_а \times d_{рц};$$

$Э^{дз}$ — эффект от сокращения годового объема дополнительных затрат, выдаваемых подрядным строительным организациям в условиях рыночных отношений;

$$Э^{дз} = C^o b_{дз} d_{рц} (1 - \frac{T}{T_н});$$

$Э^{вр}$ — эффект от сокращения годового объема возводимых и эксплуатируемых временных зданий и сооружений;

$$Э^{вр} = C_{вр}^o b_{вр} (\frac{T}{T_н} - 1) d_{рц};$$

$Э^{дир}$ — годовой экономический эффект, определяемый уменьшением затрат на содержание отделов и управлений капитального строительства как дирекции строящегося предприятия;

$$Э^{дир} = C^o b_{дир} (1 - \frac{T}{T_н}) d_{рц};$$

$Э^{пир}$ — эффект от сокращения годового объема затрат на проектно-изыскательские работы;

$$Э^{пир} = C^o b_{пир} (1 - \frac{T}{T_н}) d_{рц};$$

$Э^{пз}$ — годовой экономический эффект от уменьшения объема прочих затрат по сводной смете;

$$Э^{пз} = C^o b_{пз} (1 - \frac{T}{T_н}) d_{рц};$$

$Э^{сс}$ — годовой экономический эффект, получаемый за счет снижения базисной сметной стоимости строительства;

$$Э^{сс} = \sum_{i=1}^{nc} (C_i^o - C_i^{ок}) b_{сс} d_{рц}.$$

Здесь:

$НС_н$ — приведенный к расчетному моменту времени объем незавершенного строительства, определяемый в соответствии с планируемым лимитом инвестиций по кварталам строительства при нормативной продолжительности возведения сооружений и обьектов;

$T$ – расчетная (ожидаемая) продолжительность строительства сооружений АЭС;

$T_н$ — нормативная ( планируемая ) продолжительность строительства сооружений АЭС;

$K_a$ — коэффициент линейной аппроксимации, вычисленный на основе сокращения продолжительности строительства (обычно принимаем $K_a = 0{,}9$);

$d_{рц}$ — прогнозируемый норматив роста цен;

$C^o$ — базисная сметная стоимость сооружений АЭС;

$b_{дз}$ — коэффициент, характеризующий объем сметных затрат, зависящих от изменения индексов цен и информационных процессов и компенсируемых подрядным организациям прямым расчетом;

$b_{вр}$ — коэффициент, характеризующий долю переменной части стоимости временных сооружений, зависящей от продолжительности строительства;

$C^o_{вр}$ — сметная стоимость временных сооружений, определенная от базисной сметной стоимости сооружений АЭС;

$b_{дир}$ — норматив расходов от базисной сметной стоимости проекта АЭС на содержание дирекции строящегося предприятия;

$b_{пир}$ — норматив расходов от базисной сметной стоимости АЭС на проектно-изыскательские работы;

$b_{пз}$ — норматив расходов от базисной сметной стоимости на прочие работы и затраты;

$C^o_i - C^{ок}_i$ — ожидаемое снижение базисной сметной стоимости строительства i – го сооружения АЭС в результате функционирования системы управления качеством проекта;

$b_{сс}$ — коэффициент, характеризующий эффективную часть базисной сметной стоимости (приносящей эффект при ее уменьшении);

$nc$ — число возводимых зданий и сооружений в составе АЭС;

После подстановки данных выражений в формулу $Э^{стр}$ и выполнения необходимых преобразований получаем

$$Э^{стр} = (1 - \frac{T}{T_н}) \times (HC_н \times K_a + C^o \times b + \sum_{i=1}^{nc} (C^o_i - C^{ок}_i) \times b_{сс}) \times d_{рц},$$

где

$$b = b_{дз} - b_{вр} + b_{дир} + b_{пир} + b_{пз}$$

Предложенная оценка эффективности разработки и реализации проекта строительства АЭС (отдельного энергоблока) при функционировании системы управления качеством со стороны заказчика позволяет контролировать как надлежащий экономический уровень, так и оперативность функционирования управления качеством всего проекта.

**Литература**


1. Экономические проблемы повышения эффективности инвестиционной деятельности в современных условиях: Сб. науч. тр.\ М-во образования Рос. Федерации, С.-Петерб. 2001г.
2. Теоретические основы технико-экономического анализа деятельности предприятий. 2004 г. Б.В.Прыкин.
3. Немцев В.Н. Основы экономического анализа инженерных решений. Уч. пособие. Магнитогорск, МГТУ, 2001 г.
4. Крылов Э.И. Основные принципы оценки эффективности инвестиционного проекта. СПб, СПбГУ АП,2003 г.



**Виктор Захарович Величкин, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

*Тел. раб. 297-59-49*

*Тел. моб. 8(921)398-88-86, 8(921)654-54-68*

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

# Профессиональная переподготовка специалистов

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

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

## Контакты

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