www.engstroy.spb.ru

Инженерно-строительный журнал

научно-прикладное издание

ISSN 2071-0305

№1 сентябрь-октябрь 2008

СОБЫТИЯ

ТЕХНОЛОГИИ

КОНСТРУКЦИИ

РАСЧЕТЫ

АНАЛИЗ

ОПРОВЕРЖЕНИЕ

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

Профессиональная переподготовка специалистов

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

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

Контакты

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

Инженерно-строительный журнал
научно-прикладное издание

Специализированный научный журнал

ISSN 2071-0305

Периодичность 6 раз в год

Учредитель и издатель:

ГОУ «СПбГПУ»

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

Адрес редакции:

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

При перепечатке ссылка на издание обязательна

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
Тепловое расточительство 2
Кризис и антикризис 3

КОНСТРУКЦИИ
И.С. Дзюба, Н.И. Ватин, В.Д. Кузнецов. Монолитное большепролетное ребристое перекрытие с постнапряжением 5
Д.В. Кузьменко, Н.И. Ватин. Ограждающая конструкция «нулевой» толщины – термопанель 13
И.И. Боголепов. Вакуумные звукоизолирующие конструкции 22

ОПРОВЕРЖЕНИЕ
Юдович М.Е.О некоторых особенностях нанотехнологии в пластификации 30

ТЕХНОЛОГИИ
Г.Я. Булатов, А.Ю. Костюкова. Технология возведения фундаментов – «свая в трубе» 33
И.А. Лундышев. Перспективные технологии применения монолитного пенобетона для теплоизоляции трубопроводов 38

АНАЛИЗ
Величкин В.З., Махонин В.М. Проблемы достройки энергоблоков АЭС после длительной консервации 42

РАСЧЕТЫ
В.А. Боровиков, В.К. Сластенко, И.А. Кадол. Оценка радиуса камуфлетной полости при взрыве сферического заряда тэна в горных породах 44
В.З. Величкин, Г.С. Сахаров. Экономическая оценка календарных планов строительства сооружений АЭС 51

Тепловое расточительство

23 сентября 2008 г. в гостинице «Октябрьская» прошел круглый стол «Тепловое расточительство. Эффективность современных систем теплоизоляции».

Основными участниками мероприятия были производители теплоизоляции, проектировщики, представители научного сообщества, а также чиновники городской администрации. В ходе обсуждения были выделены основные проблемы, существующие на данный момент в отрасли.

Чиновники и проектировщики отмечают, прежде всего, устаревшую нормативную базу, несоответствие ее реальной практике. Например, сейчас при строительстве и реконструкции проектировщики обязаны учитывать три группы норм: А – по энергоэффективности, Б – санитарно-технические нормы, В – нормы по вентиляции. Но контроль ведется по одному из двух принципов: либо А и Б (при том, что Б всегда мягче, чем А), либо Б и В. Таким образом, сочетание норм по энергоэффективности и по объему воздуха никогда не соблюдается. Отсюда – нерешенность проблем теплоизоляции и энергоэффективности в целом: вентиляция в помещениях не обеспечивается, потребители открывают окна, и тепло уходит через них.

Кроме того, недостаточная обеспеченность теплом новых кварталов объясняется качеством инженерной подготовки территорий. Инженерные мощности рассчитываются исходя из изначально заявленных объемов застройки. Затем застройщик добавляет объемы, и ранее согласованных мощностей по отоплению уже не хватает. Для борьбы с этой проблемой на совещании у вице-губернатора Александра Ивановича Вахмистрова было принято решение запретить увеличение площадей более чем на 10-15 % от изначально заявленных.

В целом же, сфера теплоизоляции и энергоэффективности разделяет положение строительной отрасли в целом: СНИПы имеют лишь рекомендательный характер, технические регламенты еще не разработаны. На данный момент назрела необходимость разработки нормативной базы по теплопотерям в ограждающих конструкциях. До этого момента ситуация не изменится, поскольку застройщика волнует только момент сдачи объекта в эксплуатацию, поэтому проектировщик обеспечивает лишь необходимые для экспертизы параметры. А то, что будет со зданием через 10 лет, касается уже только потребителя и эксплуатационных служб.

Именно вопросы долговечности теплоизоляции стали камнем преткновения при обсуждении различных материалов. Известные разработчики теплоизоляции, пришедшие на наш рынок из Европы и Америки, утверждают, что срок службы таких материалов, как вата из стекловолокна, составляет не менее 50 лет. Тем не менее, этот факт подтвержден лишь в Европе, где совершенно другие метеоусловия, а главное, другое качество проектирования и строительства. В то же время, в лаборатории технологических исследований ООО «НТЦ Технологии XXI века» проводились исследования, которые опровергают такие данные производителей: конструкция навесного фасада с использованием теплоизоляционного материала по прошествии нескольких лет уже не обеспечивала расчетную изоляцию. Стоит обратить внимание на то, что речь здесь идет именно о качестве конструкции, а не материала. Разработчики утверждают, что дело здесь в качестве проектирования и монтажа, при правильном же использовании они гарантируют долговечность и необходимые параметры теплоизоляции. В то же время, производители не отрицают, что не могут подтвердить срок службы своих материалов именно в российских условиях.

Кроме ставшей традиционной в России стекловаты, на круглом столе уделили внимание и новым, недавно пришедшим на рынок материалам. Это, например, напыляемая теплоизоляция на основе полиуретана и органических веществ: овощных масел, сои, древесной стружки и т.п. Разработчики этих материалов подчеркивают их экологичность: пена изготовляется их отходов пластмасс и безвредна для озонового слоя. Производители подтверждают, что, поскольку эти материалы на российском рынке недавно, не все их свойства достаточно исследованы. Тем не менее, сейчас этот рынок активно развивается, и возможно, именно за напыляемой пеноизоляцией будущее.

Вера Якубсон

Кризис и антикризис

10 октября 2008 г. в Фонде имущества прошла конференция «Инвестиции в недвижимость: пакет антикризисных идей». Тема конференции не вполне соответствует тематике нашего издания, тем не менее, мы не могли обойти вниманием это событие.

Актуальность вопроса для бизнес-сообщества Санкт-Петербурга была очевидна: большой аукционный зал Фонда имущества был полон. Андрей Николаевич Степаненко, генеральный директор ГУ ОАО «Фонд имущества Санкт-Петербурга», посетовал на то, что никогда не видел такого количества человек на аукционах.

Невзирая на название конференции, большую часть времени докладчики посвятили не своим предложениям по преодолению кризиса, а описанию существующей ситуации и постановке основных проблем. Как отметила главный редактор газеты «Недвижимость и строительство Петербурга» Анастасия Ясинская, это был только первый разговор из череды необходимых для преодоления кризиса.

Итак, оценивая ситуацию на рынке, спикеры кардинально расходились в оценке ситуации. Так, Александр Олегович Шарапов, президент Becar Realty Group, сравнил нынешнее положение с Великой депрессией 1929-1933 гг. Соответственно, его антикризисные меры основываются на политике Франклина Рузвельта: государству необходимо вкладывать средства в реальный сектор, при этом обеспечив занятость максимального количества человек. Идеальным вариантом для этого является строительство, в том числе дорожное. В качестве основной проблемы А.О. Шарапов рассматривает кризис доверия. Банки не доверяют друг к другу, что снижает возможности межбанковского кредитования. Население не доверяет банкам, поэтому люди забирают деньги со счетов, несмотря на то, что их вклады застрахованы. И наконец, банки не верят в стоимость недвижимости, поэтому не дают кредиты на строительство.

По мнению Екатерины Павловны Немченко, коммерческого директора ООО «ГДСК», до общественных работ российской экономике еще далеко. Г-жа Немченко против того, чтобы называть сложившуюся ситуацию кризисом. В течение года на рынке жилья был ажиотажный спрос, сейчас он достаточно сильно упал. Но уровень спроса на первичном рынке в сентябре как раз достиг нормального уровня для стабильной ситуации. Е.П. Немченко назвала сегодняшний спрос «выжидательным».

Многие спикеры отмечали, что ситуация на российском, в том числе петербургском, рынке жилья специфична: в отличие от европейских стран и США, а также, например, от Казахстана, уровень развития ипотеки в России очень низкий. По данным Е.П. Немченко, сделки по ипотеке составляют около 20% продаж на первичном рынке. По сравнению с 80-90% на более «цивилизованных» рынках это ничтожно. Как шутили участники конференции, именно наша нецивилизованность нас спасает.

Вячеслав Васильевич Семененко (президент Ассоциации риелторов, вице-президент НП «Гильдия управляющих и девелоперов», член Совета директоров холдинга «Setl Group») также не считает ситуацию в российской экономике кризисной. По его мнению, нынешнее положение принципиально отличается от, например, кризиса 1998 года. Бизнесмены более опытные, «не впадают в ступор». Они понимают, что в данной ситуации, прежде всего, необходим актив. А лучший актив – это недвижимость.

В то же время, другие спикеры говорили о том, что одна из проблем данного кризиса как раз в том, что многие, кто имеет деньги, в таких опасных условиях предпочитают их беречь, а не инвестировать. Что касается покупки недвижимости, все выжидают: надеются в ближайшее время на падение цен на жилье.

По этому вопросу высказывались разные мнения. Так, Е.П. Немченко утверждает, что падения цен не будет, поскольку основные составляющие себестоимости – стоимость земли и стройматериалов – останутся неизменными. Александр Анатольевич Ольховский, президент НП «Гильдия управляющих и девелоперов», вице-президент ОАО «Банк ВТБ», не согласен с такой точкой зрения: по его мнению, цены на землю могут падать; стоимость стройматериалов упадет из-за снижения спроса на них. Именно огромный рост цен на жилье плюс высокие ставки по ипотеке, по словам А.А. Ольховского, сформировали ситуацию, которую мы имеем сейчас – резкое падение спроса. А поскольку застройщики привыкли работать в основном за счет средств дольщиков, это приведет к резкому падению строительной отрасли в условиях финансового кризиса.

В целом, хотя большинство участников было склонно вместе с руководством страны обвинять в кризисе исключительно США, некоторые отмечали и вину самих участников рынка. Так, по мнению Николая Флориановича Вечера (вице-президент НП «Гильдия управляющих и девелоперов», генеральный директор филиала компании «GWA Sawyer» по Северо-Западу), основная причина кризиса – это нецивизованность рынка девелоперов: неграмотный финансовый менеджмент, отсутствие маркетинговой политики и т.п.

Основной антикризисной мерой, предлагаемой докладчиками, стало вливание государственных денег в экономику. Как известно, сейчас у государства довольно большие резервы, которые оно может потратить на

преодоление финансового кризиса. По словам Бориса Валентиновича Юшенкова, генерального директора консалтинговой компании Colliers International (Санкт-Петербург), такое вливание, конечно, разгонит инфляцию, и скорее всего, значительнее, чем прогнозирует Минфин. Часть средств осядет в карманах чиновников. Но эта мера необходима, поскольку банки, получив деньги, смогут давать кредиты предприятиям. Промышленность продолжит развиваться, таким образом, финансовый кризис не перерастет в экономический.

Одним из немногих, кто предложил что-либо предпринять самим участникам рынка, был В.В. Семененко. Бизнес в сложившихся условиях должен оптимизировать производство и экономить на издержках. Экономия на издержках включает сокращения и снижение заработной платы.

Реальный пакет антикризисных мер огласил А.А. Ольховский. Эти меры будут вынесены на обсуждение в городской и федеральный парламент.

Прежде всего, необходимо создать антикризисную комиссию, которая будет отслеживать ситуацию на рынке, координировать действия властей, а также оказывать законодательную поддержку антикризисным действиям.

Затем, сформировать денежный фонд при Правительстве Санкт-Петербурга, который будет выкупать квартиры у застройщиков. При этом риск для города должен быть минимален, т.е. это должны быть либо построенные объекты, либо близкие к завершению. Кроме того, необходимо обеспечить полную прозрачность процедуры.

Власть также может выкупать у застройщиков проекты, в которых квартиры уже выкуплены дольщиками. Если застройщик не способен завершить строительство, государство обязано предотвратить социальный взрыв. Проект передается в бюджет, а застройщик принимает на себя функции генподрядчика.

Еще одна проблема состоит в том, что у компаний ввиду отсутствия финансирования не хватает средств на инженерную подготовку территорий под новые проекты. А если сейчас ее не проводить, через 2-3 года, когда снова появятся деньги и спрос, негде будет строить. В связи с этим А.А. Ольховский предлагает городу также профинансировать инженерную подготовку территорий.

Впрочем, А.А. Ольховский отметил, что все меры, которые предпримет государство, могут лишь сгладить последствия кризиса, справится же с ним только время.

А.Н. Степаненко подтвердил, что город готов выкупать квартиры у застройщиков. Тем не менее, по Жилищному кодексу, государство может покупать жилье только под расселение аварийных домов. Соответственно, это квартиры с определенными параметрами, в основном эконом-класса.

По итогам встречи модератор конференции подытожил советы, которые давали участники бизнесменам:

- не дергаться;
- планировать бизнес-процессы таким образом, чтобы в случае очередного обвала перенести его с наименьшими потерями;
- и наконец, вкладывать деньги в землю.

Это, конечно, была шутка. На деле, конференция показала, что основные участники рынка не страдают ложным оптимизмом, тем не менее, верят, что петербургский бизнес все преодолеет. Как многократно повторялось в процессе обсуждения, «слабые уйдут, сильные останутся». Прежде всего, необходимы профессионализм, спокойствие и дальновидность. Как сказал один из докладчиков, главное не перекладывать тяжесть кризиса на плечи населения и решать проблемы профессионально.

Вера Якубсон

Монолитное большепролетное ребристое перекрытие с постнапряжением

Инженер И.С. Дзюба, д.т.н., профессор Н.И. Ватин, профессор В.Д. Кузнецов

За последние годы монолитное строительство в Санкт-Петербурге заметно выросло. Увеличилось количество возводимых зданий, при этом застройщики пытаются сократить до минимума временные и стоимостные затраты.

Увеличение объема знаний по этой теме приведет к более качественному и быстрому проектированию. В результате можно обеспечить сокращение сроков строительства монолитных зданий. А это, в свою очередь, существенно скажется на экономической эффективности домостроения.

Межэтажное перекрытие является одним из основных элементов проектируемых сооружений, обеспечивающих восприятие нагрузок и пространственную жесткость сооружения. Расходы на возведение перекрытия достигают 50% от общего объёма затрат на материалы всего сооружения. Кроме того, чрезвычайно актуально обеспечение надежности работы перекрытия. При этом выбор экономически выгодного решения по межэтажному перекрытию при соблюдении им требуемой прочности является одной из важнейших задач проектирования. На данный момент выгодно использовать новые технологии возведения сооружений большепролетных конструкций с постнапряжением арматуры.

На данный момент по архитектурным соображениям или технологическим требованиям часто необходимо реализовывать монолитные большепролетные перекрытия (более 7 метров). При реализации подобных конструкций применяется метод предварительного напряжения. Идея этого метода заключается в создании на стадии изготовления или строительства напряженного состояния в конструкции, когда знак напряжения в бетоне противоположен знаку напряжения от эксплуатационной нагрузки.

Особенностью строительства из монолитного железобетона является сборка и монтаж арматуры непосредственно на строительной площадке, но это приводит к значительным трудозатратам и многократному перерасходу арматуры по сравнению с использованием плит перекрытий с предварительным напряжением, где расход арматуры на 1 м^2 составляет от 2 до 7 кг против 10-40 кг. Кроме того, в случае использования плит в монолитном массовом домостроении пролеты перекрытий, как правило, не превышают 4-6 м и не обеспечивают возможности свободной планировки здания.

В связи с этим основной задачей данного исследования является разработка концепции и построение конечно-элементной модели постнапряженного монолитного перекрытия (ПК SCAD), адекватно описывающей физическую сущность перекрытия

Кроме того, необходимо произвести исследование поведения модели конструкции с целью установления зависимостей от изменения внешних и внутренних параметров.

При использовании обычного железобетона в растянутой зоне железобетонных элементов возникают трещины, все растягивающее усилие в этой зоне воспринимает арматура. Трещины имеют ограниченную ширину раскрытия, что обеспечивает нормальную эксплуатацию этих конструкций при отсутствии агрессивной среды.

При проектировании большепролетных железобетонных перекрытий (с пролетом больше 7-9 м) оказывается, что выполнить эти конструкции в обычном железобетоне невозможно и невыгодно, что связано в первую очередь со снижением параметра жесткости этих конструкций и развития трещин в растянутой зоне.

Для увеличения жесткости большепролетных элементов необходимы такие способы изготовления, при которых бы не возникали трещины в растянутой зоне. Были сделаны попытки решить эту задачу путем искусственного обжатия растянутой зоны. Это стало возможным только тогда, когда в качестве арматуры для таких конструкций стали применять высокопрочную арматурную сталь в виде прутков и в виде проволочной арматуры [1]. При этом натяжение арматуры предшествует приложению полезной нагрузки, что определяет значение слова «преднапряжение». Преднапряженные конструкции делятся на два класса в зависимости от момента натяжения арматуры: до или после набора прочности бетона. Естественно, натяжение арматуры после набора им прочности возможно в том случае, если отсутствует сцепление арматуры с бетоном.

Создание на стадии изготовления или строительства напряженного состояния в конструкции, когда знак напряжения в бетоне противоположен знаку напряжения от эксплуатационной нагрузки, является одним из крупнейших достижений инженерной мысли в XX столетии.

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

Требуемое напряжение в бетоне создается за счет передачи усилия натяжения арматурных элементов. Простыми словами, арматурный элемент железобетонной конструкции растягивают почти до разрыва, после чего он стремится вернуться в первоначальное состояние, т.е. сжаться, тем самым создавая усилие обжатия бетона в растянутой зоне. Различают два вида предварительного напряжения по способу натяжения арматуры:

- на упоры
- на бетон

Способ натяжения арматуры на упоры производится на стендах в заводских условиях. Арматурные элементы растягивают, затем в форму заливают бетон и после набора им требуемой прочности арматуру «отпускают». Создается эффект обжатия бетона.

Способ натяжения арматуры на бетон делится на два способа:

- со сцеплением
- без сцепления

В первом случае в тело конструкции на стадии опалубочных работ и армирования укладываются каналообразователи из тонколистовой стали. После бетонирования в образовавшиеся полости вводятся арматурные элементы из высокопрочной стали (канаты). Затем производят механическое натяжение при помощи механического домкрата и инъецирование полости бетоном под давлением. После твердения происходит сцепление арматурного элемента с бетоном.

В случае применения систем без сцепления в тело конструкции на стадии производства опалубочных работ и армирования укладываются специальные канаты заводского изготовления в пластиковой трубке (геометрические, механические параметры, и потери натяжения от релаксации отражены в таблицах 1 и 2)

Все пространство между трубкой и канатом заполнено антикоррозийным составом, который также способствует уменьшению сил трения при натяжении каната. Затем, как и в случае со сцеплением, происходит бетонирование, набор требуемой прочности и механическое натяжение канатов. Передача усилий натяжения осуществляется при помощи анкерных устройств, состоящих из анкерной плиты и зажима. Анкерная плита может быть как прямоугольной, так и круглой формы. Также существует мультианкер для фиксации сразу 4-х канатов.

При проектировании подобных конструкций основополагающим является определение усилий отпора каната (эффект вывешивания), который определятся в зависимости от пролета, величины усилия натяжения в канате и формы раскладки каната. В дальнейшем отпор каната прикладывается к конструкции как внешняя нагрузка.

Расчет может производиться при помощи специализированного программного обеспечения, а также при помощи традиционных программных средств путем приложения к расчетной схеме внешней нагрузки.

Прочность преднапряженных железобетонных конструкций не зависит от величин предварительного напряжения арматуры. Вот почему расчет на прочность любых предварительно напряженных конструкций ничем не отличается от расчета на прочность железобетонных конструкций без предварительного напряжения (расчет по I предельному состоянию). А при проверке трещиностойкости (расчет по II предельному состоянию) силы обжатия являются внешними силами наряду с внешней полезной нагрузкой [2, 3].

На данный момент одним из наиболее перспективных направлений развития монолитного железобетона является применение при возведении пролетных конструкций преднапряжения с натяжением на бетон в построечных условиях (постнапряжение). Преднапряжение может осуществляться как со сцеплением напрягаемой арматуры с бетоном, так и без сцепления. На данный момент технология со сцеплением арматуры с бетоном показала себя как наиболее эффективная при возведении мостовых пролетов и массивных балочных конструкций. Система без сцепления наиболее эффективна при возведении конструкций сравнительно небольшого сечения.

Отличие технологии постнапряжения от широко известного преднапряжения, заключается в том, что напрягаемая арматура натягивается после бетонирования и набора бетоном достаточной передаточной прочности (70-80% марочной прочности).

Для того чтобы обеспечить возможность натяжения арматуры после твердения бетона, арматура должна иметь возможность свободного перемещения в бетоне. Для этого напрягаемая арматура заключается в пластиковую трубку.

Передача усилий на бетон осуществляется при помощи устанавливаемых на концы напрягаемых элементов анкерных устройств. Как правило, для преднапряжения используются арматурные канаты. Канат в конструкции раскладывается между верхней и нижней сеткой арматуры в соответствии с формой эпюры изгибающих моментов (линией главных растягивающих напряжений). Захват каната на анкере осуществляется при помощи клинового цангового захвата.

После набора бетоном проектной передаточной прочности производится натяжение каната при помощи гидравлического домкрата. В зависимости от типа раскладки каната возникающие при натяжении усилия вызывают напряжения обжатия бетона и, при криволинейности раскладки канатной арматуры, разгружающие усилия по длине пролета (рис. 1). Европейская и американская практика на протяжении 40 лет показывает, что в плитах перекрытий применение преднапряжения позволяет сократить толщину плиты с 1/30 пролета до 1/40-1/45 пролета. Сокращение армирования при этом достигается на 1 м³ до 35-45 кг ненапрягаемой арматуры и 10-15 кг напрягаемых канатов.

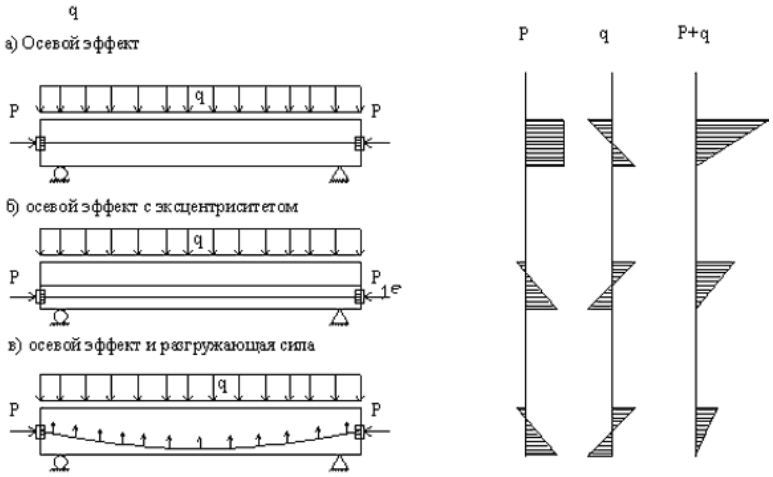


Рис. 1. Усилия при различной раскладке каната

При проектировании преднапряженных конструкций с системой преднапряжения без сцепления с бетоном следует руководствоваться следующим принципом: преднапряженная арматура передает усилия на бетон не по всей длине, а только в местах анкеровки на торцах конструкции, а также в местах перегиба канатов. Соответственно, преднапряжение должно быть принято в расчете как приложенные к конструкции внешние силы. Силы, возникающие в местах перегиба канатов, зависят, в первую очередь, от геометрии каната и усилий в нем. Как правило, в конструкциях применяется два типа раскладки канатов – свободная раскладка, при которой фиксируются только анкерные элементы, и фиксированная раскладка, с фиксированием каната на подкладках. При свободной раскладке геометрия каната определяется его жесткостными характеристиками, собственным весом и габаритами конструкции.

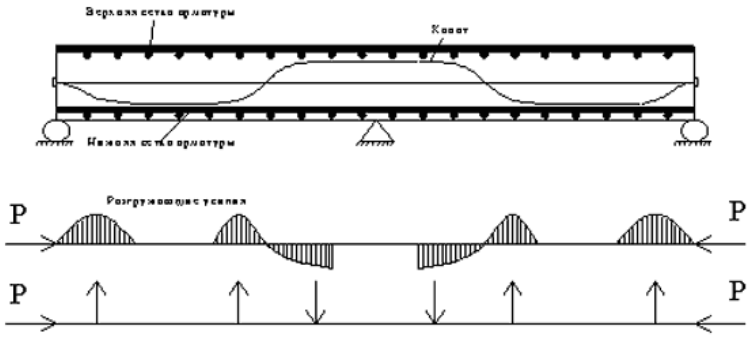


Рис. 2. Разгружающие усилия

При раскладке каната в конструкции геометрия каната описывается выражением y(x). Соответственно, угол наклона каната в точке относительно оси конструкции описывается как y'(x), а возникающая в этой точке сила – y''(x). Во время расчета полученные в зависимости от геометрии каната силы прикладываются к расчетной схеме конструкции, и статический расчет производится традиционным образом, вручную, либо используя компьютерные программы метода конечных элементов.

Также стоит отметить, что натяжение на бетон «со сцеплением» весьма трудоемко и требует высокой квалификации и ответственности инженеров и рабочих. Главной проблемой является качество инъецирования и защиты напрягаемой арматуры от попадания воды или воздуха и, соответственно, от коррозии. Причем, даже если удается установить факт повреждения напрягаемой арматуры, ее замена без разборки конструкции не представляется возможной.

Эти обстоятельства послужили основными причинами повсеместного перехода на более простую и надежную технологию предварительного напряжения арматуры с натяжением ее на бетон. Эта относительно новая технология появилась в середине прошлого столетия. Принципиальное отличие состоит в том, что напрягаемые арматурные элементы покрываются защитной смазкой, которая обеспечивает им защиту от коррозии и отсутствие сцепления с бетоном. За счет этого напрягаемая арматура имеет возможность свободного перемещения относительно бетона как в процессе натяжения, так и при эксплуатации конструкции. Напрягаемая арматура, как правило, располагается при этом в гладких полипропиленовых трубках, но может располагаться и на внутренних или внешних гранях железобетонного элемента.

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

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

Анализ имеющихся статей и публикаций по этой теме показывает [4, 5, 6], что результатов по исследованию постнапряженных монолитных перекрытий недостаточно. При этом отсутствуют расчеты данных задач при использовании ПК с применением метода конечных элементов.

Таким образом, научная проблема заключается в отсутствии методики моделирования постнапряженных конструкций, исследования и анализа их работы.

Нами было выполнено поэтапное моделирование методом конечных элементов в ПК SCAD отдельных элементов большепролетного перекрытия. Натяжение арматуры в конструкции перекрытия осуществлялось с использованием общеизвестного приема – приложением отрицательной температуры к стрендам.

Объектом для изучения стало монолитное ребристое перекрытие с постнапряжением, пролет которого 16x16м. Составными элементами конструкции являются: верхняя плита 120 мм и монолитные продольные и поперечные балки сечением 800x120 мм с шагом 2 м, в которых располагается напрягаемый стренд.

Исследования проводились на моделях ребристого перекрытия, причем перед её формированием рассматривались модели ребер с различной раскладкой каната.

В основу расчета лег метод конечных элементов с использованием в качестве основных неизвестных перемещений и поворотов узлов расчетной схемы [7]. В связи с этим идеализация конструкции выполнена в форме, приспособленной к использованию этого метода, а именно: система представлена в виде набора тел стандартного типа (стержней, оболочек и связей конечной жесткости), называемых конечными элементами и присоединенных к узлам.

Моделирование ребра плиты производилось оболочечными элементами, а стренда – стержневыми элементами, связанного с узлами оболочки связями конечной жесткости. При этом натяжение стренда моделируется температурной нагрузкой на стержень.

Задачи расчета несущих конструкций, ориентированные на уточненное предсказание особенностей поведения системы на всех этапах её работы, включая и этапы, предшествующие разрушению, чаще всего не могут быть решены методами линейной строительной механики. Отклонение от закона Гука (физическая

линейность), отказ от рассмотрения условий равновесия в геометрических терминах недеформированного состояния (геометрическая нелинейность), учет возможного изменения расчетной схемы в процессе деформирования (конструктивная нелинейность) составляют обычный «набор нелинейностей», к которому апеллирует учебная литература и большинство программных разработок.

Нелинейные расчеты выполняются с применением шагового метода, идея которого основана на отслеживании поведения системы при относительно малых приращениях нагрузки. При этом на каждом шаге решается линеаризованная система разрешающих уравнений для текущего приращения вектора узловых нагрузок, сформированного для рассматриваемого загружения.

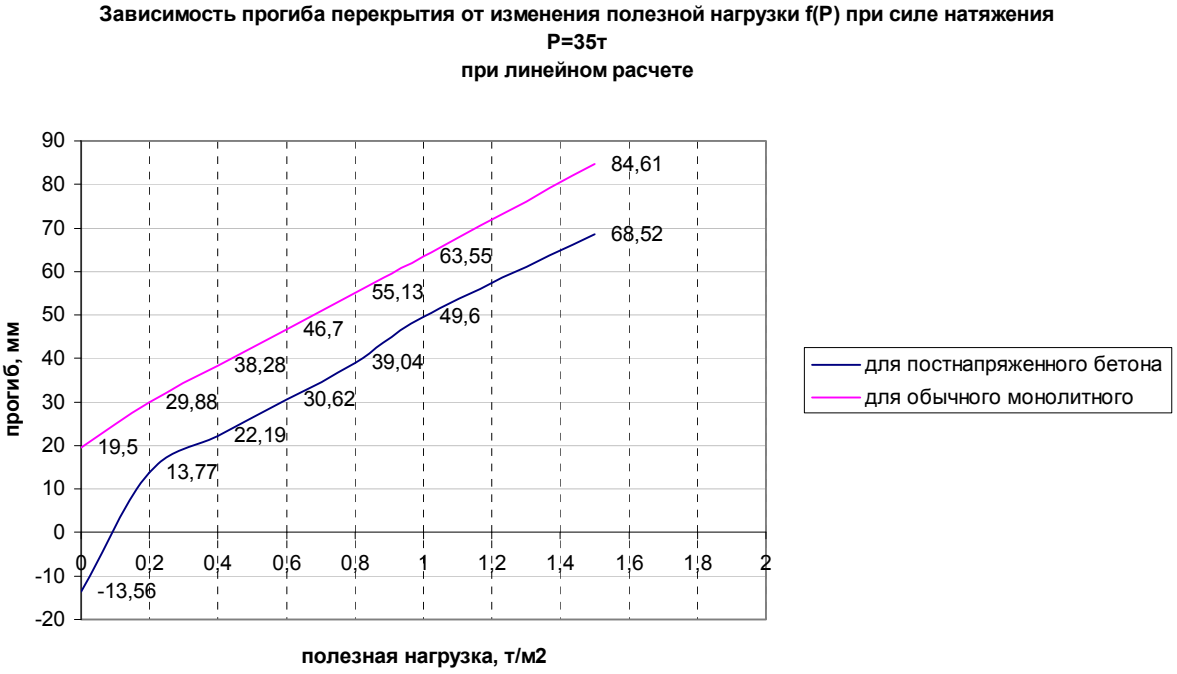


Рис.3. График зависимости прогиба от полезной нагрузки

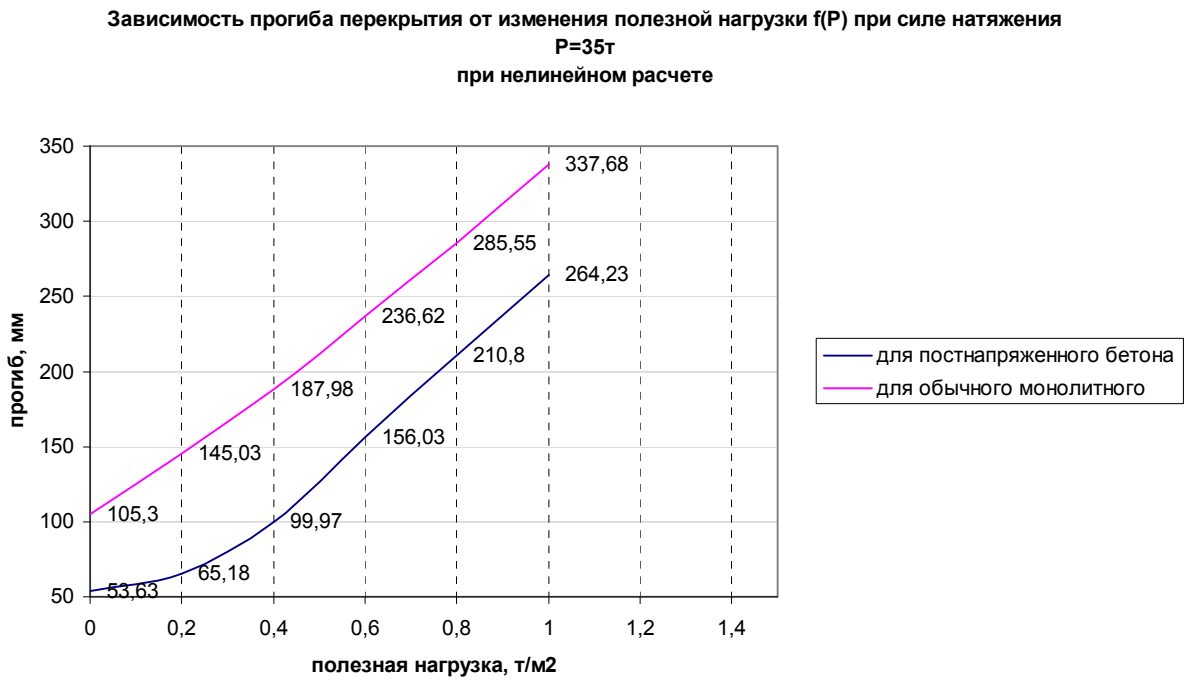


Рис. 4. График зависимости прогиба от полезной нагрузки при нелинейном расчете

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

Согласно п.10.7 СНиП «Нагрузки и воздействия» [8], устанавливающего предельные прогибы и перемещения несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений при расчете по второй группе предельных состояний независимо от применяемых строительных материалов получаем: f= 16000/230=69,6мм – предельный прогиб перекрытия(для промышленного здания).

Согласно п.2.28 СНиП «Бетонные и железобетонные конструкции» [9], устанавливающего расчетные сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы получаем: для К7 при диаметре арматуры 12мм Rs =1110 МПа(11300 кгс/см²).

Согласно п.10.19 СНиП «Нагрузки и воздействия» [8], устанавливающего предельные выгибы элементов междуэтажных перекрытий, ограничиваемые исходя из конструктивных требований, следует принимать 40 мм – при пролете больше 12м.

В напрягаемом стренде после приложения полезной нагрузки реализуются растягивающие усилия, которые не являются критическими.

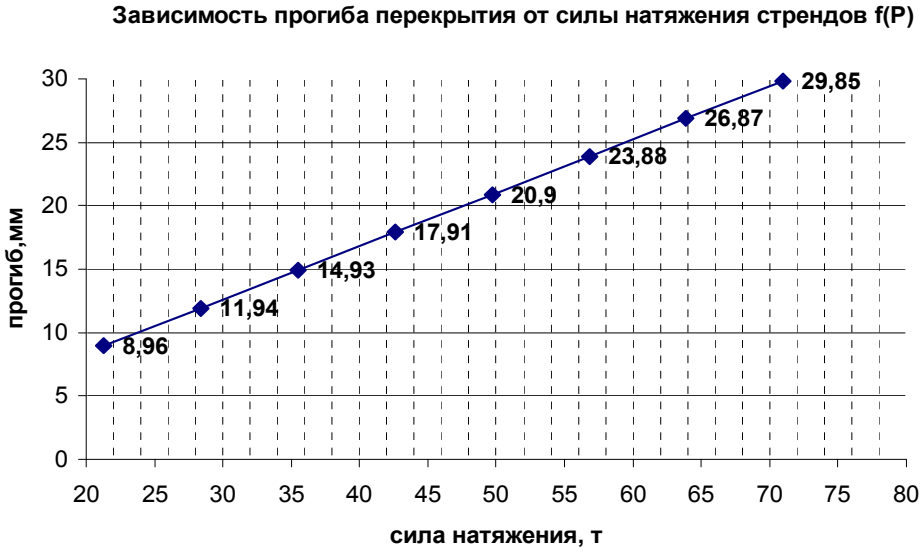


Рис. 5. График зависимости прогиба от температурной нагрузки

Полученные результаты не противоречат имеющимся представлениям по характеру напряженно-деформированного состояния преднапряженных конструкций и качественно соответствуют данным по расчету конструкции перекрытия [10].

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Использование модели ребра с одной точкой опирания стренда на бетон демонстрирует основные свойства работы конструкции: уменьшение прогибов вплоть до выпора ребра над точкой опирания, локальное смятие бетона в точке анкеровки. При количестве точек опирания 11 и более модель адекватно описывает напряженно-деформируемое состояние конструкции.
2. На примере монолитно-ребристого перекрытия показано, что применение постнапряжения конструкции позволяет обеспечить допустимые прогибы конструкции, в то время как для обычного монолитного перекрытия прогиб за пределами допустимого.
3. Анализ системы с геометрической нелинейностью в виде стренда дал нелинейную зависимость прогиба конструкции от полезной нагрузки на начальном этапе и практически линейную при нагружениях, близких к реальным.
4. В отсутствие нагрузки величина выпора перекрытия линейно зависит от усилия в стренде, моделируемом температурной нагрузкой.
5. В отсутствие полезной нагрузки геометрическая нелинейность рассматриваемой схемы не проявляется, и выпор перекрытия линейно зависит от силы натяжения стренда.

Список использованных источников

1. Мадатян С.А. Новые технологии и материалы для арматурных работ в монолитном железобетоне // Технологии бетонов. – № 3,2006. С. 52-54.
2. Бондаренко В.М. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций: Учебное пособие – М: Высш. шк., 2006.
3. СП 52-102-2004 «Предварительно напряженные железобетонные конструкции».
4. Черныгов Е.А. Исследование эффективности применения технологии натяжения арматуры на бетон без сцепления//Молодые ученые в транспортной науке//Научные труды ОАО ЦНИИС, М.: 2005, с. 87-95.
5. Лихов З.Р. Совершенствование преднапряженных железобетонных стропильных балок и методов их расчета : Дис. канд. техн. наук : 05.23.01 Ростов н/Д, 2004.
6. Осипов М.В. Железобетонные балки с переменным преднапряжением вдоль арматурных стержней : Дис. канд. техн. наук: 05.23.01 Ростов н/Д, 2005.

7. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А.. Вычислительный комплекс SCAD. М.: Издательство АСВ, 2007. – 592с.
8. СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия».
9. СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции».
10. Гранквист Р.В. Будущее строится сегодня // Буклет // ЛенСпецСМУ – 2003.

Ограждающая конструкция «нулевой толщины» – термопанель

Аспирант Д.В. Кузьменко, д.т.н., профессор Н.И. Ватин

Строительство жилых зданий каркасного типа, сочетающих в себе высокие теплоизоляционные и конструкционные свойства, является основным условием для реализации государственной программы «Доступное и комфортное жилье гражданам России». Альтернативной современной каркасной технологией строительства жилых зданий является Технология Легких Стальных Тонкостенных Конструкций (ЛСТК).

На базе ЛСТК разработан новый тип ограждающих конструкций – термопанель (Рис. 1). Основой термопанели является термопрофиль и эффективный утеплитель.

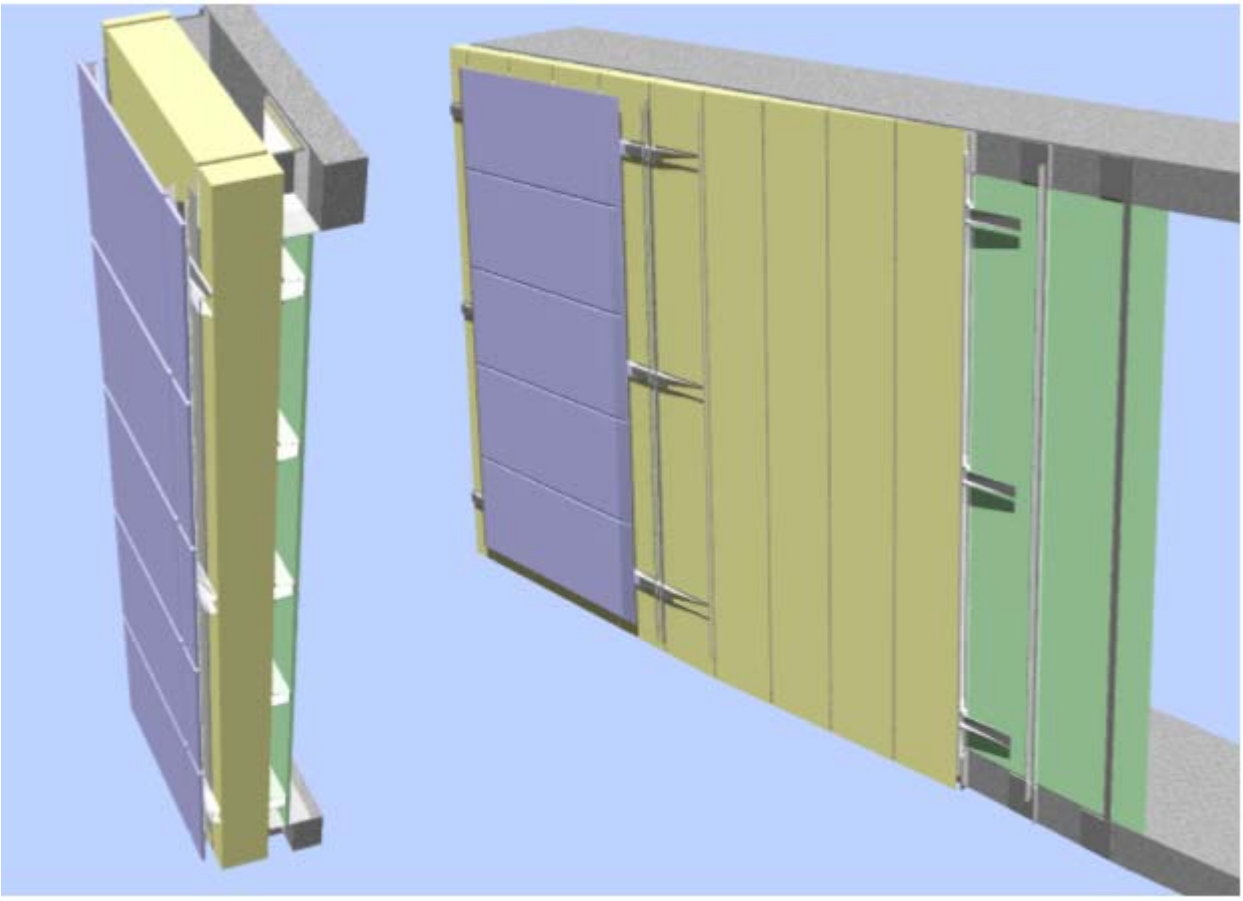


Рисунок 1. Новый тип ограждающей конструкции – термопанель

Применение термопанели – это перспективная, новая энергосберегающая технология, которая по праву может использоваться в жилом высотном домостроении. Термопанель позволит обеспечить энергосбережение за счет применения эффективного утеплителя и термопрофиля с прорезями, увеличивающими путь теплового потока и как следствие – сопротивление теплопередаче, а также снизит материальные, трудовые и стоимостные затраты в массовом строительстве при высоких качественных и эксплуатационных показателях и сократит сроки строительства за счет технологии сборки.

Строительство обеспечивающих энергосбережение при эксплуатации зданий, привлекает все большее внимание руководителей городского хозяйства и инвесторов. Для первых это связано с возможностью снижения дотаций населению на оплату за потребляемую тепловую энергию, для вторых – с возможностью повысить конкурентоспособность потребительских качеств здания.

Актуальность энергосбережения в строительной отрасли связана со следующими обстоятельствами:

– увеличиваются объемы строительства, в связи с этим возрастает потребление энергетических

ресурсов;

- особую значимость приобретает проблема экологической безопасности – уменьшения загрязнения окружающей среды в результате сжигания топлива;
- возрастает стоимость энергетических ресурсов;
- ставится задача сохранения ресурсов в аспекте защиты интересов будущих поколений.

Создание энергоэффективных зданий и их конструкций становится тем направлением в строительстве, которое позволяет наиболее рационально использовать ограниченные топливно-энергетические и материальные ресурсы при получении максимального технико-экономического, социального и экологического эффекта.

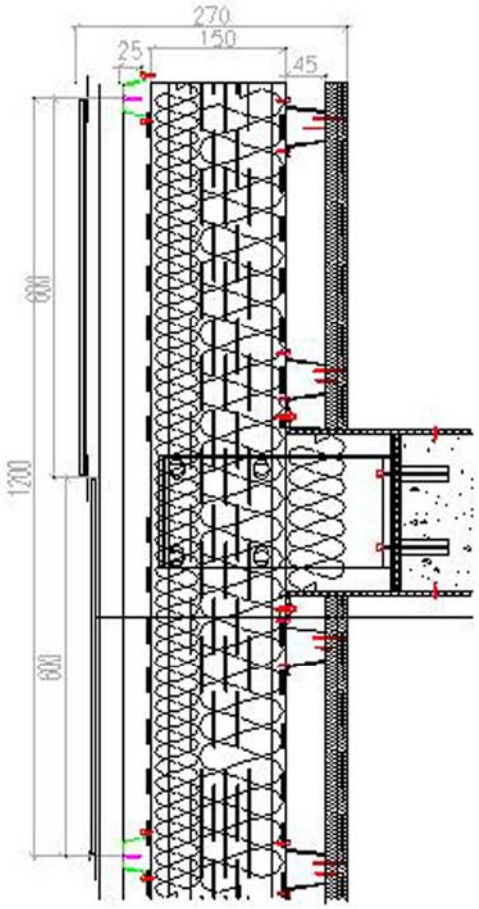
В крупных городах России каркасно-монолитное жилье давно стало привычным. К преимуществам каркасно-монолитного строительства относится как гибкость общих архитектурно-планировочных решений, так и возможность свободной планировки помещений. Каркасно-монолитное жилье может быть любой категории, от экономичной до элитной. При этом чрезвычайно важно, какой вид имеет ограждающая система, что определяет ее экономическую и техническую эффективность.

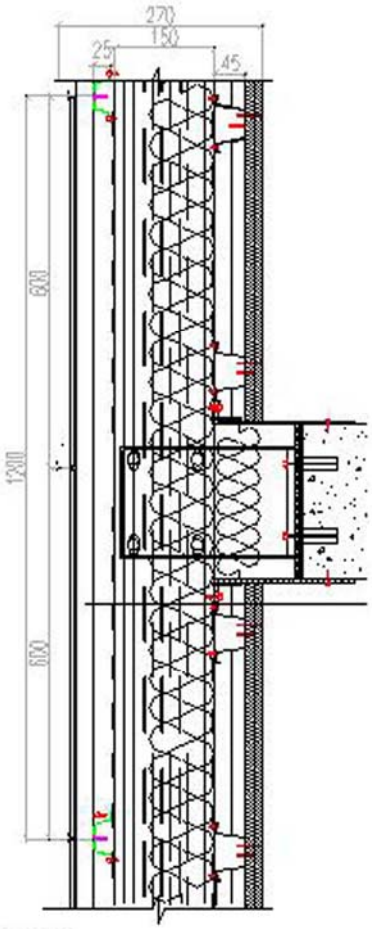
Ограждающие конструкции монолитного здания могут быть следующими:

1) монолитные;
2) монолитные слоистые стены с эффективным утеплителем;
3) стены, выполненные из небетонных материалов (кирпич, ячеистобетонные или керамзитобетонные блоки);
4) сборные бетонные трехслойные панели.

Стеновое заполнение из газобетона или пустотелого кирпича не входит в состав несущей конструкции, поэтому для его устройства могут быть использованы легкие материалы низкой плотности, имеющие высокие теплотехнические свойства. Их использование позволяет не только облегчить ограждающую конструкцию, но и уменьшить расход бетона на фундамент, увеличить жилую площадь, повысить энергоэффективность здания. Такой конструкцией может быть – термопанель.

Термопанель (рис. 2) выполняет функции ограждающей конструкции (такие как теплозащита, восприятие ветровой и не нормируемой, но существующей внутри помещения силовой нагрузки на ограждающие конструкции), а также функции фасадной системы с вентилируемым зазором, обеспечивающим удаление влаги из минераловатного утеплителя. Эта ограждающая конструкция для каркасных домов, которая полностью исключает мокрые строительные процессы, позволяет вести большинство монтажных работ внутри помещения. Термопанель – это навесные панели наружных стен с каркасом из термопрофилей, предназначенные для строительства малых и многоэтажных зданий.





Вариант а

1. Керамогранит, 595х595 мм
2. Кляммер
3. Вертикальная омегообразная обрешетка ОУ-25-1.2 (шаг 600 мм)
4. Горизонтальная омегообразная обрешетка ОУ-25-1.2 (шаг 1200 мм)
5. Конденсатоизоляционная мембрана Monarperm
6. Балка термопрофиль ТС-150-1.5
7. Теплоизоляция «URSA» (100+50)мм
8. Фольгированная пароизоляция
9. Омегообразная обрешетка ОУВ-45-0.6 (шаг 600 мм)
10. Гипсокартон ГКЛВ 2 слоя (12.5мм)
11. Несущий кронштейн
12. Элемент примыкания
13. Анкер
14. Межэтажное перекрытие

Вариант б

1. Керамогранит, 595х595 мм
2. Кляммер
3. Вертикальная омегообразная обрешетка ОУ-25-1.2 (шаг 600 мм)
4. Горизонтальная омегообразная обрешетка ОУ-25-1.2 (шаг 1200 мм)
5. Конденсатоизоляционная мембрана Monarperm
6. Балка термопрофиль ТС-150-1.5
7. Теплоизоляция «URSA» (100+50)мм
8. Фольгированная пароизоляция
9. Дополнительная теплоизоляция «URSA» 50мм
10. Омегообразная обрешетка ОУВ-45-0.6 (шаг 600 мм)
11. Гипсокартон ГКЛВ 2 слоя (12.5мм)
12. Несущий кронштейн
13. Элемент примыкания
14. Анкер
15. Межэтажное перекрытие

Рисунок 2. Ограждающая конструкция – термопанель. Разрез

Основой для термопанелей служат легкие стальные профили – термопрофили.

Почему строители используют сталь? Дело в том, что сталь характеризуется очень высоким значением отношения прочности материала к плотности. Например, для дерева этот параметр почти вдвое, а для железобетона — в 20 раз меньше, чем для стали. Это дает возможность создавать легкие конструкции большой несущей способности. Недостаток стали – низкая коррозионная стойкость и высокая теплопроводность. Коррозионная стойкость в термопрофиле обеспечивается применением горячеоцинкованной стали. Для радикального уменьшения теплопроводности в термопрофиле в шахматном порядке прорезаны сквозные отверстия для увеличения пути прохождения теплового потока. Это позволяет уменьшить эффективную теплопроводность металла на 90-80%.

Смещенный шаг прорезей позволяет ликвидировать так называемые «мостики холода». Теплопроводность конструкций наружных стен с термопрофилем становится примерно равной теплопроводности древесины. В отличие от древесины, термопрофили не подвержены разрушительному влиянию биологических процессов. Благодаря прорезям профили обладают и хорошими виброакустическими свойствами.

Термопрофили стали применяться в России в конце 90-х годов. В Санкт-Петербурге термопрофили, адаптированные к российским условиям, серийно выпускаются с 2003 года [6]. Они успешно применялись для возведения легких каркасных конструкций мансард, коттеджей, быстровозводимых малоэтажных зданий.

Независимо от несущей способности к ограждающим конструкциям предъявляются требования в соответствии с выполняемыми функциями по следующим параметрам:

1) термическое сопротивление;
2) теплоустойчивость;
3) воздухопроницаемость;
4) паропроницаемость.

Наружные ограждающие конструкции с термопрофилями, расположенными непосредственно в их теплоизоляционных слоях являются неоднородными в теплотехническом отношении, что обуславливает необходимость расчета приведенных значений их сопротивления теплопередаче, с учетом влияния термопрофилей, являющихся «мостиками холода», на теплозащитные качества таких конструкций. В связи с большим различием расчетных коэффициентов теплопроводности стали (58 Вт/(м ^{0}С)) и используемых в этом случае эффективных утеплителей (0,03 – 0,1 Вт/(м ^{0}С)) не обеспечиваются ограничения, установленные для использования сравнительно простой инженерной методики расчета приведенных значений термического сопротивления неоднородных ограждающих конструкций, предусмотренной п. 2.8 СНиП 23-02-2003 [4]. Поэтому теплотехнический расчет выполняется на основе расчета температурных полей; приведенного теплового сопротивления; либо по результатам опытных исследований. Все эти способы являются достаточно трудоемкими.

Для многослойных панелей, состоящих из неоднородных слоев с эффективной теплоизоляцией, полностью или частично пронизывающих толщу теплоизоляции металлическими элементами (профиля, стержни, болты), приведенное термическое сопротивление определим следующим образом.

1. Конструкция условно расчленяется на однородные элементы. Затем конструкция представляется в виде цепи из тепловых сопротивлений, образующих последовательно-параллельные участки, для которых рассчитывается приведенное тепловое сопротивление ρ^r, °С/Вт. Причем участки с параллельными ветвями цепи с тепловыми сопротивлениями ρ' и ρ'' рассчитываются по формуле:

$$\rho^r = (\rho'\rho'')/(\rho' + \rho'') \quad (1),$$

а участки с последовательными тепловыми сопротивлениями – суммированием их тепловых сопротивлений.

2. Приведенное термическое сопротивление R_k^r, м^2·°С/Вт, определяют по формуле:

$$R_k^r = \rho^r A \quad (2),$$

где A – общая площадь конструкции, равная сумме площадей отдельных участков, м^2.

Получены значения приведенного сопротивления изоляционного слоя для всех типоразмеров термопрофилей. В таблице 1 представлены приведенные значения термического сопротивления неоднородных теплоизоляционных слоев, полученные на основе приведенного теплового сопротивления. Они могут быть приняты в качестве расчетных значений для определения сопротивления теплопередаче термопанели. В таблице представлен результат расчета термопрофилей высотой стенки 150 и 175 мм, толщиной стенки 1,5 и 2 мм, как наиболее распространенных, при различном расстоянии между ними.

Таблица 1. Приведенное термическое сопротивление изоляционного слоя при шаге термопанели (L), мм

Толщина теплоизоляции (высота стенки термопрофиля), $\delta_{тс}$,мм	**Толщина стенки термопрофиля, мм**	**Расчетный коэф-т Теплопровод-ности утеплителя (λ),Вт/м ^{0}С**	**Приведенное термическое сопротивление ($R_{пр.к}$),м2 ^{0}С/Вт,теплоизоляционного слоя ($\delta_{тс}$) при шаге термопрофилей L,мм**		
			600	**900**	**1200**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
150	1,5	0,03	3,70	4,05	4,25
		0,04	2,97	3,19	3,31
		0,041	2,91	3,12	3,24
		0,042	2,86	3,06	3,17
		0,045	2,70	2,88	2,98
		0,047	2,61	2,78	2,87
		0,05	2,48	2,63	2,71
		0,06	2,13	2,24	2,30
		0,07	1,86	1,95	1,99
		0,08	1,66	1,72	1,76
		0,09	1,49	1,55	1,57
		0,1	1,36	1,40	1,42
	2,0	0,03	3,41	3,81	4,05
		0,04	2,78	3,04	3,19
		0,041	2,73	2,98	3,12
		0,042	2,68	2,92	3,06
		0,045	2,54	2,76	2,88
		0,047	2,46	2,66	2,78
		0,05	2,34	2,53	2,63
		0,06	2,03	2,16	2,24
		0,07	1,78	1,89	1,95
		0,08	1,60	1,68	1,72
		0,09	1,44	1,51	1,55
		0,1	1,32	1,37	1,40
175	1,5	0,03	4,15	4,59	4,85
		0,04	3,36	3,64	3,80

		0,041	3,29	3,56	3,72
		0,042	3,23	3,49	3,64
		0,045	3,06	3,30	3,43
		0,047	2,96	3,18	3,30
		0,05	2,82	3,01	3,12
		0,06	2,43	2,57	2,65
		0,07	2,13	2,24	2,30
		0,08	1,90	1,99	2,03
		0,09	1,71	1,78	1,82
		0,1	1,56	1,62	1,65
	2,0	0,03	3,79	4,29	4,59
		0,04	3,11	3,45	3,64
		0,041	3,06	3,38	3,56
		0,042	3,01	3,32	3,49
		0,045	2,86	3,14	3,30
		0,047	2,77	3,03	3,18
		0,05	2,64	2,88	3,01
		0,06	2,30	2,47	2,57
		0,07	2,03	2,17	2,24
		0,08	1,82	1,93	1,99
		0,09	1,65	1,74	1,78
		0,1	1,51	1,58	1,62

Таким образом, определение приведенных значений сопротивления теплопередаче многослойных ограждающих конструкций с теплоизоляционными слоями, включающих термопрофили, можно проводить путем расчета их как однородных в теплотехническом отношении многослойных конструкций с определением приведенных значений термического сопротивления таких неоднородных теплоизоляционных слоев по данным таблицы 1.

Аналогичным образом получены значения сопротивления теплопередаче термопанели для всех типоразмеров.

Полученный результат расчета термопанелей различных типоразмеров на теплоустойчивость позволяет сделать вывод: данная конструкция удовлетворяет требованиям по теплоустойчивости. Расчетная амплитуда суточных колебаний результирующей температуры воздуха A_t^{des} находится в интервале от 0,89 °С до 1,24 °С, что не превышает нормируемого значения A_t^{req} =1,5 °С (при наличии централизованного отопления).

В таблице 2 представлена характеристика слоев термопанели на базе термопрофиля 150 мм, которая имеет наименее выгодные теплотехнические характеристики из всех типоразмеров.

Для неоднородных слоев коэффициент теплопроводности λ_W, удельная теплоемкость c, плотность γ_0 подсчитаны как средневзвешенные величины.

Таблица 2. Коэффициенты теплоусвоения и показатели тепловой инерции слоев покрытия

№ слоя	Материал слоя	Плотность γ_0, кг/м^3	Коэффициент теплопроводности λ_w, Вт/(м·°С)	Удельная теплоемкость *c*, Дж/(кг·°С)	Коэффициент тепло-усвоения *s*, Вт/(м^2·°С)	Сопротивление тепло-передаче *R*, м^2·°С/Вт	Показатель тепловой инерции *D*
1.	Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка) ГОСТ 6266	800	0,21	840	2,7	0,119	0,32
2.	Обрешетка + воздушные промежутки	-	-	-	-	0,137	0
3.	Пароизоляция (п/э пленка в 1 слой)	930	0,12	1570	3,57	0,002	0,01
4.	Минераловатный утеплитель +металлические стойки	119,14	0,056	782	0,616	2,7	1,66
5.	Обрешетка + воздушный вентилируемый зазор	-	-	-	-	-	0
6.	Керамогранитная плитка ГОСТ 1399693	2000	-	-	-	-	0
						Сумма	**1,99**

Из таблицы 2 следует, что зона резких колебаний расположена в четырех первых слоях ограждения. Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения равняется:

$$Y_3 = \frac{R_3 s_3^2 + s_4}{1 + R_3 s_4} = \frac{0{,}002 \cdot 3{,}57^2 + 0{,}616}{1 + 0{,}002 \cdot 0{,}616} = 0{,}641$$

$$Y_2 = \frac{R_2 s_2^2 + Y_3}{1 + R_2 Y_3} = \frac{0{,}137 \cdot 0^2 + 0{,}641}{1 + 0{,}137 \cdot 0{,}641} = 0{,}59$$

$$Y_1 = \frac{R_1 s_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2} = \frac{0{,}119 \cdot 2{,}7^2 + 0{,}59}{1 + 0{,}119 \cdot 0{,}59} = 1{,}36$$

$$Y_1 = Y_{\text{int}} = 1{,}36$$

Коэффициента теплопоглощения поверхности ограждения равен:

$$B = 1/(1/8{,}7 + 1/1{,}36) = 1{,}176$$

Амплитуда колебаний температуры воздуха в помещении равняется:

$$A_t^{des} = 0{,}1 \cdot (20 - (-26))/1{,}176 \cdot 3{,}16 = 1{,}24\,°\text{C} < A_t^{req} = 1{,}5\,°\text{C}$$

Требование СНиП 23-02-2003 к конструкции термопанели по воздухопроницаемости выполнено, т. к. $J^{des} >> J^{req}$.

Сопротивление воздухопроницанию термопанелей находится в диапазоне 1056 – 1060 м^2·ч·Па/кг, что больше нормируемого сопротивления воздухопроницанию J^{req} 177,74 м^2·ч·Па/кг.

Выполнен расчет распределения парциального давления водяного пара по толще стены и определена возможность образования в термопанели конденсата. В таблице 3 представлены результаты расчета для термопанели на базе термопрофиля 150 мм с толщиной стенки 1,5 мм.

Таблица 3. Результаты оценки возможности конденсации пара внутри стен

Граница слоев	*x*, м	ΣR_i, (м^2·°С)/Вт	τ_i, °С	E_i, Па	$\Sigma\Omega_i$, м^2·ч·Па/мг	e_i, Па	$t_{росы}$, °С
int-1	0	0	19	2197	0	1284	10,6
1-2	0,025	0,119	17,9	2050	0,333	1252	10,3
2-3	0,07	0,256	16,7	1901	0,333	1252	10,3
3-4	0,0702	0,256	16,7	1901	10,333	321	-7,6
4-5	0,2202	2,956	-7	340	10,803	277	-9,2
5-*ext*	0,2752	2,956	-7	340	10,894	267	-9,6

При сравнении величин максимального парциального давления E_i водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев видим, что все величины e_i ниже величин E_i, что указывает на отсутствие возможности конденсации водяного пара в ограждающей конструкции. Построим график изменения температуры и точки росы по координате *x*, т.е. по толщине стены (рис. 3).

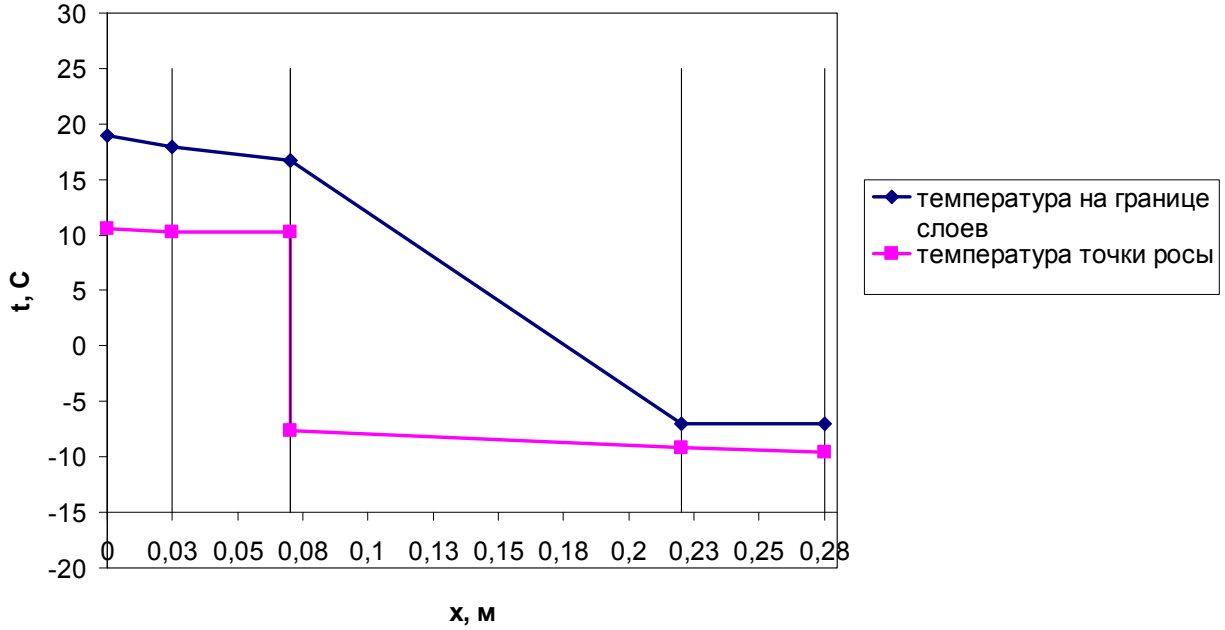


Рисунок 3. Оценка возможности конденсации влаги в ограждении

Из рис. 3 видно, что значения точек росы лежат ниже значений температуры по всей толщине стены. Следовательно, при расчетной температуре и влажности наружного воздуха конденсация пара исключена, и дополнительная пароизоляция не требуется.

Список использованных источников

1. Ватин Н.И., Кузьменко Д.В. «Инженерные решения ограждающих конструкций на базе термопанелей» // VII Международная конференция «Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения» (RELMAS-2008).
2. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Межгосударственный стандарт.
3. Жмарин Е.Н. Технология будущего – строительство облегчённых зданий и сооружений с применением термопрофилей и лёгких балок // Стройпрофиль, 2004, №5(35). — С.83.

4. Кузьменко Д.В. Энергоэффективная стеновая конструкция // Молодые ученые – промышленности северо-западного региона: Материалы семинаров политехнического симпозиума Декабрь 2006 года. СПб.:Изд-во Политехн. ун-та, 2006. С.127

5. Кузьменко Д.В., Жмарин Е.Н. Ограждающая конструкция – термопанель как элемент энергоэффективного здания, отвечающего целям минимизации расходования тепловой энергии // Сборник научных трудов «Научные исследования и инновационная деятельность», 2007 год.

6. Рыбаков В.А. Современные методы расчета металлоконструкций из открытых тонкостенных профилей. // Материалы Всероссийского Форума студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах», 2007. С. 10-11.

7. Рыбаков В.А., Гамаюнова О.С. Влияние перфорации стенки на несущую способность термопрофилей // СтройПРОФИль, 2008, № 1(63). С. 128-130.

8. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология».

9. СНиП 2.08-01 – 89* «Жилые здания».

10. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

11. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий».

Вакуумные звукоизолирующие конструкции

Д.т.н., профессор И.И. Боголепов

Физическое явление, состоящее в том, что звук не может распространяться в пустоте, известно давно и считается общепризнанным научным фактом. В школе, например, иногда демонстрируется опыт с будильником под стеклянным колпаком, из-под которого выкачан воздух: видно, что будильник звенит, а звука не слышно. Предложения об использовании вакуума для звукоизоляции делались неоднократно. Однако насколько можно судить по опубликованным данным, вакуумные конструкции в качестве звукоизолятора никогда до сих пор не использовались (в отличие от широкого применения их в качестве теплоизолятора, например, в термосах). Почему?

Рассмотрим воздушную среду с импедансом Z_0 по обе стороны двустенной конструкции, между стенками которой с импедансами Z_1 и Z_2 на расстоянии d находится газообразная среда с импедансом Z_3. При нормальном падении плоских гармонических звуковых волн на эту конструкцию звукоизоляция её равна [1]:

$$R = 10\lg\left|\frac{e^{i(k_3-k_0)d}}{4Z_0Z_3}(Z_3+Z_0)^2\left\{\begin{array}{l}\left[\frac{Z_1}{2Z_0}\left(\frac{Z_3-Z_0}{Z_3+Z_0}\right)-\left(1+\frac{Z_1}{2Z_0}\right)\right]\left[\frac{Z_2}{2Z_0}\left(\frac{Z_3-Z_0}{Z_3+Z_0}\right)-\left(1+\frac{Z_2}{2Z_0}\right)\right]- \\ -\left[\frac{Z_1}{2Z_0}-\left(1+\frac{Z_1}{Z_0}\right)\left(\frac{Z_3-Z_0}{Z_3+Z_0}\right)\right]\left[\frac{Z_2}{2Z_0}-\left(1+\frac{Z_2}{2Z_0}\right)\left(\frac{Z_3-Z_0}{Z_3+Z_0}\right)\right]e^{-2ik_3d}\end{array}\right\}\right|^2$$

где k_0 и k_3 есть волновые числа окружающей среды и среды между стенками.

Из формулы следует, что при полном разрежении газообразной среды между стенками (при вакууме), то есть при Z_3=0, звукоизоляция двустенной конструкции стремится к бесконечности, то есть $R \to \infty$. Таким образом, теоретически вакуумные конструкции обладают идеальной звукоизоляцией. Однако практически полного вакуума достичь нельзя, и между стенками вакуумной конструкции, кроме разреженной среды, всегда находятся также соединительные элементы и стенки, ограждающие разреженную среду с боков. Именно недостаточная ясность вопроса влияния этих двух факторов на звукоизоляцию многие годы ставила под сомнение рациональность применения этого способа.

Первое серьезное исследование этого вопроса было проведено известным немецким акустиком Эрвином Майером [2]. Уже при пробном разрежении им межстенночного пространства двустенной металлической конструкции (с помощью воздухомасляного насоса) простое прослушивание показало, что звукоизоляция стала *хуже*. Измерения подтвердили эти результаты (сначала для почти половины атмосферы внутри стены, а затем для понижения давления на атмосферу). Объяснение этой неожиданной для всех неудачи Майер пытался найти по количественным результатам. В указанной статье он писал: «Вследствие большой нагрузки (наибольшее значение 26 тонн) обе металлические стены так сильно натянуты и одновременно с такой большой силой прижимаются друг к другу, что вся конструкция в целом ведет себя как согласованная одиночная стена». Выдающийся немецкий акустик, проведя пионерский эксперимент, пришел к выводу о том, что три проблемы делают вакуумную звукоизоляцию бесперспективной. Во-первых, ограничительные элементы и опоры между пластинами являются звуковыми мостиками, через которые звук идет от одной стенки к другой, обходя вакуум. Во-вторых, огромное наружное давление на стенки, создаваемое из-за вакуума между ними, может разрушить конструкцию. В-третьих, трудно обеспечить достаточную герметичность вакуумной конструкции. Авторитет Майера был настолько велик, что к вопросу вакуумной звукоизоляции ученые и инженеры долго не возвращались.

Но эти исследования Майера дали другой важный результат. Ученый впервые обратил пристальное внимание на прохождение звука через «звуковые мостики» в двустенных конструкциях и сформулировал основную идею уменьшения проходимости звуковой энергии через такие мостики. Статья Майера послужила началом многих научных изысканий, в частности работ другого выдающегося немецкого акустика Л. Кремера и его ученика М. Хекля [3, 4, 5], а также исследований у нас в стране, например, [6-10]. Позднее эта идея была распространена на все виды звукоизоляции и получила название «принципа рассогласования импедансов» [11].

Спустя десятилетия после указанного пионерского эксперимента автором была предпринята попытка продолжить исследования Майера. Для продолжения работ надо было создать новую, специальную экспериментальную установку, на которой можно было бы измерить с высокой степенью точности и надежности звукоизоляцию двустенных конструкций, как со звуковыми и звукоизолирующими мостиками, так и без них, и удобно было бы проводить испытания вакуумных конструкций. Такая установка была создана, и если судить по известным автору опубликованным данным, впервые в мире [11- 13].

Теперь можно было начать новое исследование рациональности применения вакуума для звукоизоляции в реальных конструкциях. Со времен первых экспериментов (сороковые годы прошлого столетия) научно-технический прогресс достиг больших успехов. Наши испытания были проведены на базе этих успехов: с использованием современных технологий изготовления вакуумных конструкций, техники получения и контроля вакуума и электронных средств измерения звукоизоляции. Ниже излагаются методика проведения нового эксперимента и наиболее важные его результаты.

Специально для этого эксперимента были спроектированы, изготовлены и проверены на герметичность вакуумные конструкции размерами 1100 мм на 1200 мм двух типов: очень легкие и очень массивные. Испытания звукоизоляции проводились в указанной выше установке методом реверберационных камер по международному стандарту, признанному основным Международной организацией по стандартизации (ISO 140). Предельная погрешность результата испытаний не превышала 1 дБ при надежности (вероятности) этой оценки 0,95.

Легкая вакуумная конструкция была изготовлена из двух гофрированных листов полистирола толщиной 1,5 мм. Гофры одного листа были расположены перпендикулярно гофрам другого. Между гофрами находилась пластина из эластичной пористой пластмассы толщиной 2 мм. Внутреннее пространство панели (вакуумная полость) образовывалась только за счет гофр. По контуру панели гофрированные листы были герметично соединены между собой через звукоизолирующий мостик, состоящий из двух металлических профилей и резиновой трубки между ними. Трубка была выполнена герметичной наподобие камеры шины автомобиля. Внутри неё был сжатый воздух. Критическая частота каждого листа [11] составляла примерно 6300 Гц. Схема легкой панели показана на рис.1.

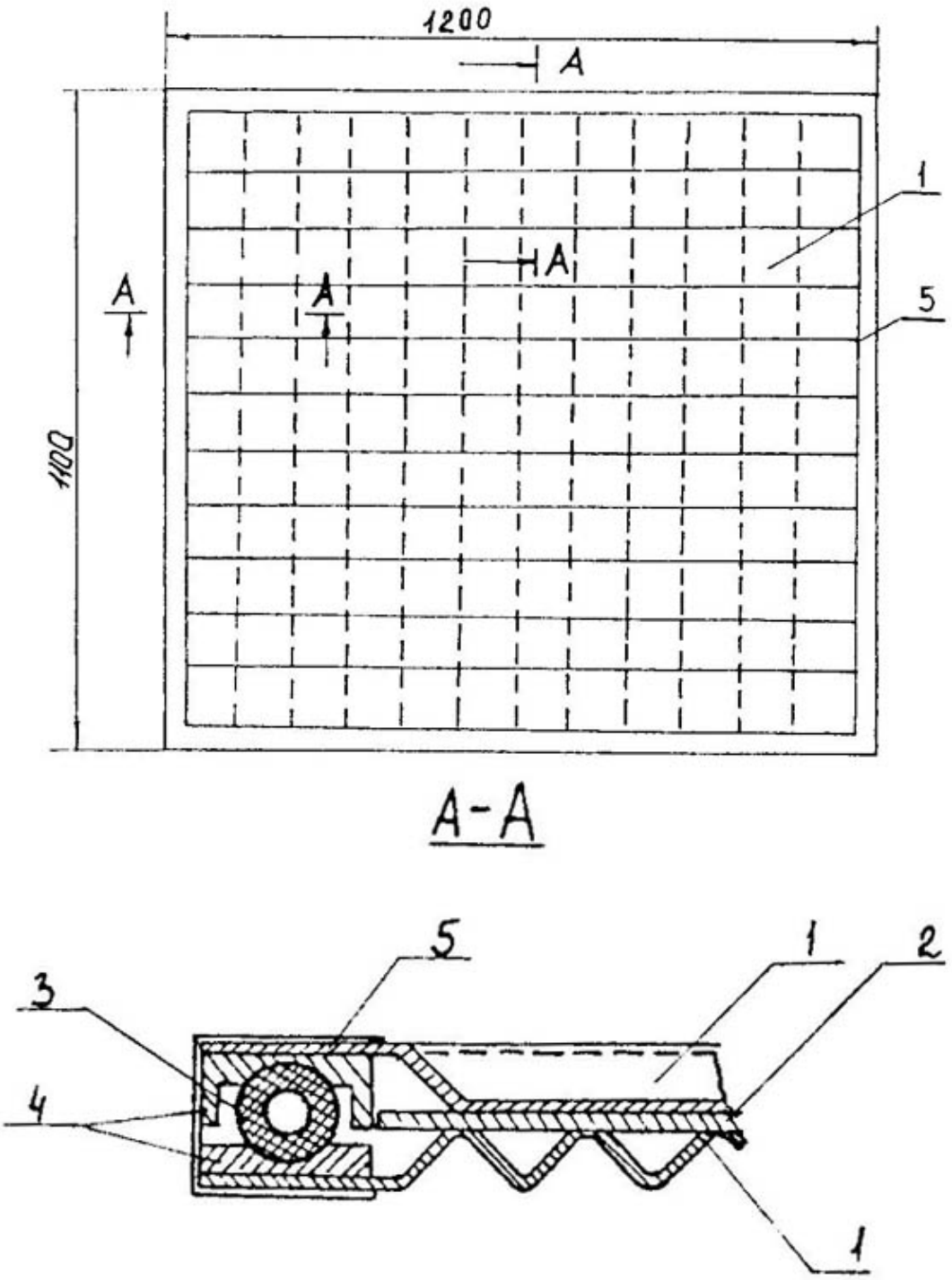


Рис. 1. Конструкция легкой вакуумной панели

1 — полистирол марки СНП; 2 — прорезиненная ткань; 3 — пенопласт марки ТПВФ-1; 4 — профиль из алюминиевого сплава; 5 — резиновая трубка.

Массивная вакуумная конструкция представляла собой двустенную панель из двух стальных одинаковых листов толщиной 6 мм, соединенных между собой жесткой стальной рамкой толщиной 15 мм, соединенной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом за три прохода. Каждая пластина снаружи имела четыре стальных ребра жесткости толщиной 6 мм. Расстояние между пластинами (толщина пространства, в котором создавался вакуум) равнялось 60 мм. Испытание на герметичность производилось гелиевым течеискателем. Критическая частота каждой пластины равна примерно 2000 Гц. Схема массивной вакуумной панели показана на рис.2.

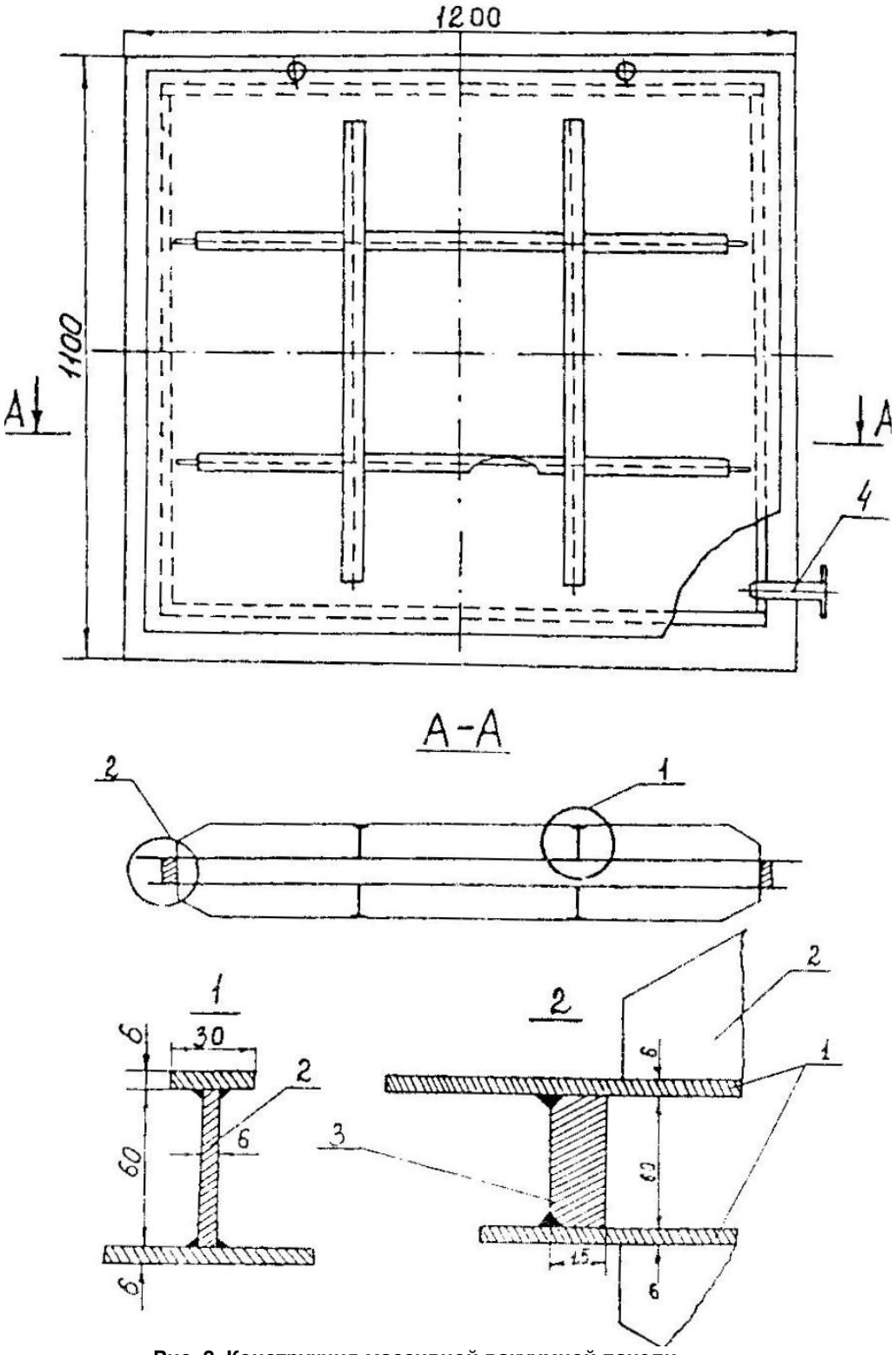


Рис. 2. Конструкция массивной вакуумной панели

1 — пластины; 2 — ребра жесткости; 3 — опорная рамка; 4 — штуцер

Внутренние пространства, как в легкой, так и в массивной панелях, соединялись через вакуумный штуцер и трубопровод с форвакуумным и паромасляными насосами. Степень разрежения (величина вакуума) во внутреннем пространстве панелей определялась и контролировалась вакуумметром с помощью термопарного и ионизационного манометров.

Результаты измерения звукоизоляции *легкой вакуумной панели* представлены на рис. 3.

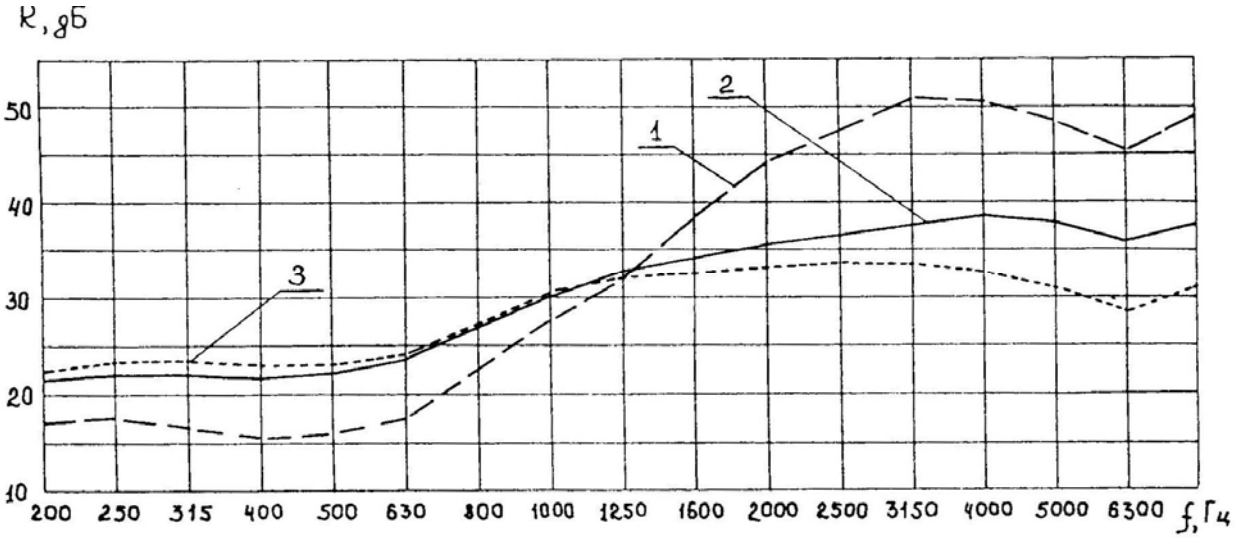


Рис. 3. Звукоизоляция легкой вакуумной панели

1 — давление внутри панели 10^5 Па (1,0 атм);

2 — давление внутри панели $9x10^4$ Па (0,9 атм);

3 — давление внутри панели $2x10^3$ Па (0,02 атм);

Итак, в области высоких и отчасти средних частот звукоизоляция *ухудшилась*, а в области низких – *улучшилась*. Кривая звукоизоляции по мере откачки воздуха поворачивается по часовой стрелке относительно средней части диапазона частот, сохраняя минимум на критической частоте пластины в районе 6300 Гц. При этом внешнее атмосферное давление с всё большей силой прижимает гофры листов друг к другу и образует, по всей видимости, эффективные звуковые мостики по всей площади панели. В этих условиях имеющиеся звукоизолирующие мостики по контуру панели оказались неэффективными.

При уменьшении давления внутри панели внешняя сила сжимает панель с большой силой. Но критическая частота не смещается по частотной оси, значит, звукоизоляция панели в этой частотной области сохраняет свойства двустенной конструкции. Следовательно, из-за большого давления эластичная пористая пластмасса прокладки между гофрами, уплотняясь, превращается в местах контактов листов в звуковые мостики, которые и ухудшают звукоизоляцию легкой панели. В итоге по мере откачки воздуха звуковая энергия начинает во всё больших количествах идти не через разреженный воздух, а через образовавшиеся мостики. Полученный в этой части результат соответствует данным эксперимента Майера.

Однако с понижением частоты картина меняется: звукоизоляция легкой панели по мере откачки воздуха начинает *увеличиваться*. Гипотетически причина этого увеличения состоит в том, что в области низких частот двустенная панель ведет себя как одностенная трехслойная конструкция, модуль сдвига среднего слоя которой *увеличивается* с увеличением внешнего давления. Действительно, если критические частоты изгибных волн панели находятся выше определенного диапазона частот, а критическая частота сдвиговых волн — ниже этого диапазона, то можно ожидать роста звукоизоляции панели за счет увеличения модуля сдвига. Об этом косвенно говорит тот факт, что при небольшом вакууме в 9. 10^4 Па (0,9 атм) и при большом вакууме в 2.10^3 Па (0,02 атм) звукоизоляция увеличилась примерно на одинаковую величину, то есть если сжать пористую пластмассу до монолитного состояния, то дальнейшее сжатие мало увеличит модуль сдвига, а следовательно, и звукоизоляцию панели. Это новый результат.

Сильно прижатые друг к другу через пористую пластмассу листы с перпендикулярными гофрами по сочетанию малого веса и большой цилиндрической жесткости напоминают сотовые металлические конструкции. Именно на сотовых конструкциях была в дальнейшем проверена и получила экспериментальное подтверждение гипотеза *увеличения* звукоизоляции трехслойных панелей за счет *увеличения* модуля сдвига промежуточного слоя [14]. Но этот новый результат выходит за рамки данной статьи.

Таким образом, непосредственно эффективно использовать вакуум для увеличения звукоизоляции легких конструкций не удалось, но попутно был получен важный результат, позволивший в дальнейшем увеличить звукоизоляцию таких новых строительных панелей, какими являются упомянутые выше сотовые металлические конструкции, за счет увеличения их изгибной жесткости и *жесткости на сдвиг.*

Результаты измерения звукоизоляции *массивной вакуумной конструкции* представлены на рис. 4.

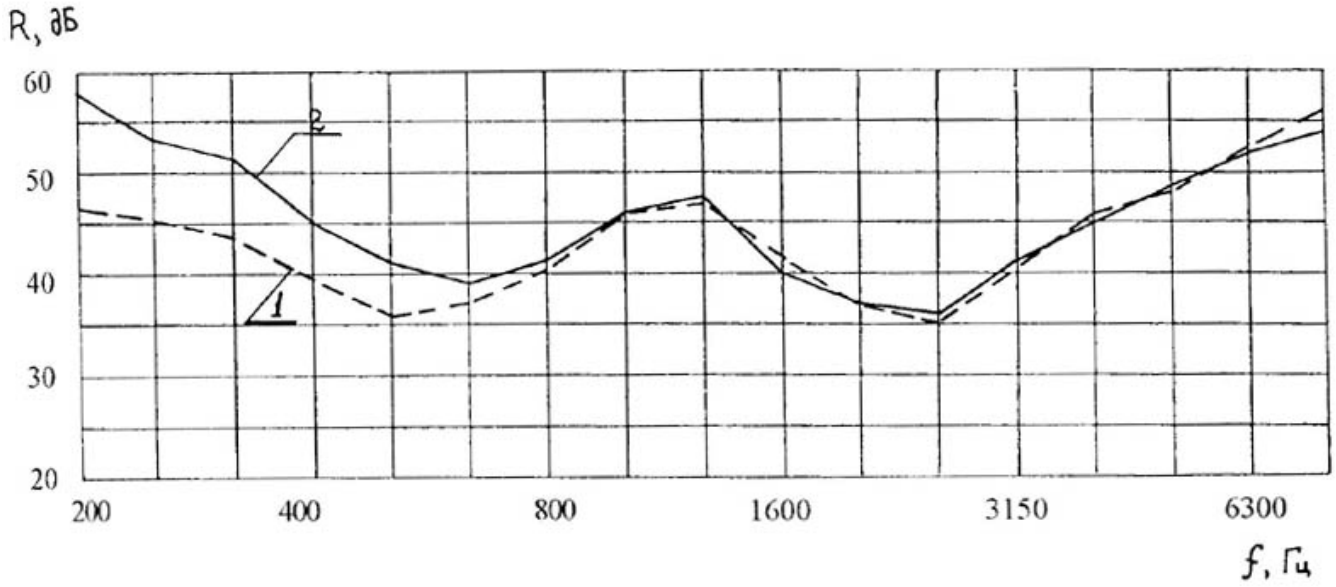


Рис. 4. Звукоизоляция массивной вакуумной панели

1 — при атмосферном давлении; 2 — при вакууме

Итак, общая картина звукоизоляции после откачки воздуха из вакуумной полости здесь получилась иная, чем для легкой вакуумной конструкции, Отметим её четыре существенные особенности.

1. Испытания звукоизоляции проводились при различном вакууме очень широкого диапазона, а именно при $1{,}33.10^{-2}$ Па ($1{,}33.10^{-7}$ атм), при 1,33.10 Па ($1{,}33.10^{-4}$ атм) и при 2.10^{4} Па (0,2 атм). Важный экспериментальный факт: изменения вакуума в полости массивной панели практически не повлияли на звукоизоляцию при *всех* указанных разрежениях (единая кривая 2 по сравнению со звукоизоляцией без вакуума — кривая 1). Для легкой панели степень вакуума сильно влияла на звукоизоляцию.
2. На высоких и средних частотах даже высокий вакуум ($1{,}33.10^{-2}$ Па) совершенно не повлиял – ни положительно, ни отрицательно – на звукоизоляцию массивной конструкции. А у легкой панели на этих частотах даже небольшой вакуум значительно уменьшил звукоизоляцию.
3. На самых низких частотах представленного диапазона при создании вакуума (независимо от его степени – подчеркнем это) звукоизоляция массивной панели проявила себя с несколько большей тенденцией подъема в сторону низких частот, чем у легкой панели. Важный экспериментальный факт: звукоизоляция на самых низких частотах сравнялась и стала даже несколько *больше*, чем звукоизоляция на самых высоких частотах. Появилось новое решение старой проблемы создания высокой звукоизоляции на низких частотах без значительного утяжеления преграды.
4. Кривая звукоизоляции массивной конструкции имеет характерный вид: она почти симметрична в диапазоне 200-8000 Гц, имеет посередине этого диапазона максимум, по обе стороны которого наблюдаются минимумы, по краям указанного диапазона звукоизоляция увеличивается в сторону самых высоких и, что особенно важно, как уже отмечалось, в сторону самых низких частот. По форме эта кривая имеет W-образный вид. Первый минимум звукоизоляции в районе 500-630 Гц соответствует основной резонансной частоте двустенной конструкции как единого целого, а второй минимум в районе 2000-2500 Гц соответствует критической частоте каждой из пластин двустенной конструкции. Такая W-образная форма кривой звукоизоляции оказалась в дальнейшем исходной для создания новых конструкций с большой цилиндрической жесткостью [14]. Это тоже новый результат.

В итоге общая картина зависимости звукоизоляции массивной панели от вакуума сводится к тому, что кривая звукоизоляции по мере откачки воздуха из вакуумной полости приподнимает свою низкочастотную ветвь относительно примерно того же центра на частотной оси, что и поворот кривой для легкой панели, оставляя без изменения высокочастотную ветвь этой кривой. Критическая частота при откачке воздуха из пространства между пластинами массивной панели не сместилась по частотной оси (так же, как и у легкой панели). Значит, можно полагать, что в этой области частот массивная панель постоянно сохраняет свойства двустенной конструкции, несмотря на мощные звуковые мостики по контуру панели (в легкой панели эти мостики появились по всей площади панели по мере откачки воздуха, лишив её свойств двустенности).

С учетом данных эксперимента Майера, стало ясно, что звук в области высоких и средних частот передается, главным образом, через контур массивной панели, а не через пространство между пластинами. Поэтому вакуум в этой области частот практически не оказал влияния на звукоизоляцию.

В области низких частот вакуум даже при наличии мощного звукового мостика по контуру панели *увеличил* звукоизоляцию массивной конструкции на значительную величину в 6-12 дБ. Звукоизоляция на самых низких частотах стала больше, чем на самых высоких. Этот новый результат, ранее экспериментально никогда не наблюдаемый, дал импульс для разработки конструкций с большой звукоизоляцией в области низких частот за счет увеличения их жесткости, а не массы, как это делалось традиционно ранее. Это позволило в дальнейшем приступить к разработкам в области инфразвукоизоляции. Для инфразвукоизоляции увеличение жесткости конструкций оказалось вообще *единственным* способом получения необходимого уровня звукоизоляции [15, 16].

В связи с этим следует особо подчеркнуть, что *увеличение* звукоизоляции с понижением частоты для массивной конструкции наблюдается и *без вакуума*. Теоретически ниже основной резонансной частоты звукоизоляция панели может определяться жесткостью конструкции, и тогда она увеличивается с уменьшением частоты [11]. После откачки воздуха под действием большой нагрузки стенки конструкции прогибаются внутрь панели, что приводит к появлению дополнительной жесткости и к смещению вследствие этого основной резонансной частоты в сторону высоких частот. Это смещение имеет место на рис. 4. Оно вызвало, следует полагать, увеличение звукоизоляции, так что кривая звукоизоляции переместилась параллельно первоначальной: кривая панели при атмосферном давлении внутри в диапазоне 315 Гц – 500 Гц идет параллельно кривой панели с вакуумом внутри в диапазоне 400 Гц – 630 Гц. Только ниже полосы 400 Гц начинает проявляться дополнительная звукоизоляция, которую можно отнести непосредственно на счет *вакуума.*

Вывод: главная инновация в области звукоизоляции XXI века

Для реальной высокоэффективной вакуумной звукоизоляции автором статьи предложена конструкция, указанная в авторском свидетельстве № 1270251 [17-20]. Схема такой конструкции представлена на рис. 5.

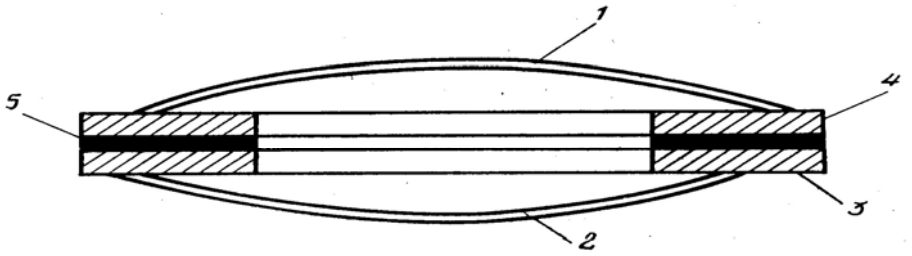


Рис. 5. Вакуумная звукоизолирующая панель

1 и 2 — стенки в виде части сферы; 3 и 4 — металлические рамки;

5 — упругая уплотняющая прокладка

Звукоизолирующий элемент состоит из двух стенок, выполненных в виде части сферы выпуклостью наружу, прочно и герметично соединенных с массивными рамками, между которыми установлена виброизолирующая опора в виде упругой уплотняющей прокладки. Между стенками создается вакуум. Для создания вакуума две стенки с рамками и сплошную резиновую прокладку в разобранном виде помещают в вакуумную камеру, откачивают в камере воздух до необходимого разрежения, прижимают две стенки через прокладку плотно друг к другу и в таком сильно прижатом состоянии извлекают конструкцию с вакуумов внутри из камеры. Внешнее атмосферное давление с очень большой силой прижимает стенки с рамками друг к другу, сжимая прокладку, причем, чем больше вакуум, тем больше сила прижатия, тем больше звукоизоляция и тем надежнее герметичность. Существуют и другие способы создания вакуума, например, откачка воздуха из внутренней полости конструкции вакуумными насосами через штуцер, расположенный в одной из рамок конструкции. Выбирая соответствующие импедансы а) стенок с рамками и б) прокладок между ними, можно обеспечить по всему контуру необходимую эффективность звукоизолирующего мостика. Поскольку разреженный воздух, находящийся между стенками, плохо проводит звуковую энергию, а по контуру между стенками имеется звукоизолирующий мостик, также плохо проводящий звук, то баланс этих двух факторов и обеспечит необходимую звукоизоляцию конструкции в широком диапазоне частот.

Вакуумные конструкции, теоретически обладающие идеальной звукоизоляцией, могут найти широкое применение в промышленных зданиях: механизмы, помещенные в вакуумные оболочки, не будут излучать шум. Прозрачные вакуумные конструкции в медицине обеспечат тишину, хорошую стерильность и визуальный контроль.

Шум в мире растет. Основное средство борьбы с ним — звукоизоляция. В концепции долгосрочного развития России до 2020 года Минэкономразвития РФ особое внимание уделяет инновационному пути становления государства [21]. Вакуумные звукоизолирующие конструкции — это, возможно, главная инновация в высокоэффективной звукоизоляции жилых, общественных и промышленных зданий будущего, а также, конечно, в современной авиакосмической технике. Поэтому научные исследования и опытно-конструкторские разработки в области вакуумной звукоизоляции, я полагаю, будут продолжены.

Список литературы

1. Боголепов И.И. Теоретическое исследование звукоизолирующей способности судовых двустенных конструкций. Труды института, вып. 45. Центральный научно- исследовательский институт технологии судостроения, Л., Изд.»Судостроение», 1963.
2. Meyer E. Versuche uber Korperschalleitung (Schallbrucken), Akustische Zeitschrift, № 2, 1937.
3. Cremer L. Calculation of Sound Propagation in Structures, Acustica, vol.3, 1953.
4. Cremer L. Berechnung der Wirkund von Schallbrucken, Acustica, vol.4, 1954.
5. Heckl M. Untersuchung uber die Luftschalldammung von Doppelwanden mit Schallbrucken, ICA, Stuttgart, 1959.
6. Заборов В.И. О звукоизоляции двойных ограждений со связью по контуру. Акустический журнал АН СССР, М.,1965, т. Х!, вып. 2.
7. Боголепов И.И. О влиянии звуковых мостиков на звукоизолирующую способность судовых двустенных переборок. В сб. «Борьба с шумом на судах», Изд. «Судостроение», Л.,1965.
8. Боголепов И.И. О звукоизоляции двустенных судовых конструкций. Журнал «Судостроение». № 11, Л.,1966.
9. Боголепов И.И., Авферонок Э.И. Звукоизоляция на судах. Изд. «Судостроение», Л., 1970.
10. Боголепов И.И. Исследование точечных звуковых мостиков двустенных конструкций. Сб. «Шумоглушение», Всесоюзный центральный научно-исследовательский институт охраны труда ВЦСПС, М., 1976.
11. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. Теория, исследования, проектирование, изготовление, контроль. Изд.»Судостроение», Л., 1986.
12. Боголепов И.И. Установка для испытаний на малых образцах звукоизоляции судовых конструкций. Журнал «Технология судостроения», № 5, Л., 1964.
13. Боголепов И.И., Семенова В.Н., Кузнецов Ю.В. Устройство для измерения звукоизоляции. Авторское свидетельство № 408997. Бюллетень изобретений № 48, М., 1973.
14. Боголепов И.И., Ефимцов Б.М., В.Ф.Панин. Экспериментальное исследование звукоизолирующей способности трехслойных панелей с сотовым заполнителем. Труды Центрального аэро-гидродинамического института им. проф. Н.Е.Жуковского (ЦАГИ), Выпуск 1902, Авиационная акустика, Сборник работ. Издательский отдел ЦАГИ, М., 1978.
15. Авилова Г.М., Боголепов И.И., Лебедева И.В. Инфразвукоизоляция замкнутой оболочки. В кн. «Звукоизолирующие и звукопоглощающие конструкции в практике борьбы с шумом». ЛДНТП, Л., 1977.
16. Авилова Г.М., Боголепов И.И., Лебедева И.В. Тартаковский Б.Д. Эспериментальное исследование звукоизоляции оболочек различной формы. Акустический журнал АН СССР,М.,1982, т ХХУШ, вып. 5.
17. Боголепов И.И., Рыбакова Е.В. Звукоизолирующий элемент. Авторское свидетельство № 1270251. Бюллетень изобретений № 42, М., 1986.
18. Боголепов И.И. Высокоэффективная звукоизоляция ХХ1 века. Сб. «Наука, промышленность, сельское хозяйство и культура в Санкт-Петербурге и Ленинградской области на пороге ХХ1 века», Том 2, Петербургский Союз УИСП, СПб, 2000.
19. Боголепов И.И. Исследование звукоизоляции вакуумных конструкций. Научно-технические ведомости, 4(34)/2003, Санкт-Петербург, Издательство СПбГПУ, 2003.
20. Боголепов И.И. Строительная акустика. Санкт-Петербург, Издательство Политехнического университета, 2006.
21. www.economy.gov.ru.

О некоторых особенностях нанотехнологии в пластификации

К.х.н., ст.н.сотр. ООО «Научно-технический центр прикладных нанотехнологий»
Юдович М.Е.

Считаю крайне необходимым высказаться по поводу содержания статьи Ваучского М.Н., опубликованной в № 6-7 журнала «Вестник Строительного Комплекса» за 2008 г. Ее автор сотрудничал с ЗАО «Астрин-Холдинг» в период с 1998 по 2003 г. и занимался строительными технологиями. К этому периоду относится получение патента на «Композицию для получения строительных материалов…», одним из восьми авторов которого являлся М.Н.Ваучский. Однако никакого применения в строительной отрасли результаты данного патента не нашли, поскольку статистически значимое усиление бетона, достигнутое авторами, составило 10 – 15% при драматическом увеличении стоимости бетона.

Гораздо более перспективные результаты были получены и опубликованы позднее, начиная с 2004 года, при использовании так называемой микрофибры базальтовой модифицированной (ТУ 5761-014-13800624-2004, руководитель разработки - Юдович М.Е., исполнитель – Ваучский М.Н., утверждены Ген. директором Пономаревым А.Н., держателем оригинала является ООО «НТЦ Прикладных нанотехнологий»). В своей статье автор забыл указать эти сведения.

Такое же отношение М.Н.Ваучский демонстрирует к выполнению реконструкции моста через р. Волга в г. Кимры Тверской области. На этом мосту летом 2007 г. впервые, по-видимому, в мировой практике в качестве дорожной подушки был уложен легкий наномодифицированный бетон (ТУ 5789-035-23380399-2008, разработаны Юдовичем М.Е., утверждены Ген. директором Пономаревым А.Н., держателем оригинала является ООО «НТЦ Прикладных нанотехнологий»). Работы выполнял Мостоотряд-90, компоненты для получения такого нанобетона производились и поставлялись «НТЦ ПН», а на саму композицию нами (Пономаревым А.Н. и Юдовичем М.Е.) подана заявка на патент РФ (№ 2007117485/03(019043), приоритет от 10.05.2007). Фотография моста, использованная М.Н. Ваучским в своей статье, сделана мною лично в ходе осуществления авторского надзора за укладкой покрытия. В числе других снимков этого объекта она была впервые обнародована мною в докладе «Нанобетон: состояние и перспективы» на III Международной конференции по применению инноваций в народном хозяйстве в Мариинском дворце Санкт-Петербурга 19 ноября 2007 г. Фотография использована автором статьи без какого-либо на то разрешения.

Это же относится к электронно-микроскопическим фотографиям цементного камня. Последние опубликованы в статье Пономарева А.Н. «Синергизм наноструктурирования цементных вяжущих и анизотропных добавок в композиционных бетонах», Вестник гражданских инженеров, №2(3), с.47-53, 2005 г.

Далее, относительно водорастворимых углеродных нанокластеров. Я, Юдович М.Е., не являюсь единственным автором идеи. Таких авторов трое, и М.Н. Ваучский не входит в их число. Не может он знать и о сути способа получения подобных кластеров; таким образом, использованное в его статье выражение «мы научились…», по меньшей мере, неуместно.

Далее, идея о модификации суперпластификаторов углеродными наночастицами принадлежит Пономареву А.Н. и Юдовичу М.Е. Разработкой этой темы мы занимаемся и поныне; в 2006-2007 гг. работы финансировались грантом РФФИ № 06-08-00246а, руководителем был Юдович М.Е., а автор статьи не имел никакого отношения к работе и даже о ней не знал. Результаты наших экспериментов опубликованы в серии статей; некоторые из них приведены ниже:

1. Пономарев А.Н. Проблемы синергизма в наноструктуриро ванных цементных вяжущих и анизотропных полимерных добавок в композиционных бетонах // VIII академические чтения РААСН, Самара, 2004 г.
2. Юдович М.Е., Пономарев А.Н., Великорусов П.В., Емелин С.В. Регулирование свойств пластичности и прочностных характеристик литых бетонов. // Строительные материалы, №1, 2007 г. С. 2-3.
3. Юдович М.Е, Пономарев А.Н. Наномодификация пластификаторов, регулирование их свойств и прочностных характеристик литых бетонов // Стройпрофиль, № 6(60), 2007 г. С. 49-51.
4. Юдович М.Е., Пономарев А.Н., Гареев С.И. Поверхностно-активные свойства модифицированных пластификаторов. // Строительные материалы, №3, 2008 г. С. 44-46.

В этих полученных и опубликованных без участия М.Н. Ваучского материалах изучены эффекты наномодификации многих типов суперпластификаторов, в том числе С-3 и Зика Вискокрет; там же изложены выводы, которые пересказывает М.Н. Ваучский в своей статье.

Что касается результатов (изложенных в упомянутой статье от первого лица), полученных начальником лаборатории ОАО «Полипласт» (г. Кингисепп) Л.Д. Соловьевой, то они до последнего времени вообще имели статус конфиденциальных; стали известны М.Н. Ваучскому в частных беседах и опубликованы им также без разрешения.

И, наконец, о терминах «супер» и «гиперпластификаторы». Еще в 2006 г. на выставке «Высокие технологии и инновации» (Ленэкспо) компания «НТЦ Прикладных нанотехнологий» (правопреемница ЗАО «Астрин-Холдинг») получила золотую медаль за разработку гиперпластификаторов путем наномодификации известных суперпластификаторов. М.Н. Ваучский в то время и позже не работал в данной компании и не имел отношения к ее (компании) разработкам; он устроился работать по совместительству в «НТЦ ПН» только с 1 января сего года.

Заключая обсуждение особенностей рассматриваемой статьи, приходится констатировать следующее: 90% приводимого автором фактического материала получено без какого-либо его участия, опубликовано им без какого-либо разрешения и без каких-либо конкретных ссылок на фактических авторов, — а потому является конкретным и легко доказуемым плагиатом.

Как можно видеть, в НТЦ Прикладных Нанотехнологий выполнен (и выполняется) целый комплекс работ, связанных с целенаправленным изменением надмолекулярной структуры цементных бетонов. При этом строительная тематика является лишь частью более общего материаловедческого направления фундаментальных и прикладных исследований, выполняемых на нашем предприятии[1]. Успех таких работ не в последнюю очередь связан с тем обстоятельством, что мы обладаем более чем 15-тилетним опытом разработки и получения различного вида углеродных наномодификаторов фуллероидной природы (см., например,[2]).

Легкий наноструктурированный бетон (нанобетон) является первым, но не единственным примером успешного применения разработанных на нашем предприятии методов целенаправленного изменения структуры конденсированных сред.

Здесь уместно дать следующее определение: **нанобетон** – это группа методов и спектр наноматериалов, использование которых в различных сочетаниях позволяет управлять набором свойств строительных композиций на основе минеральных вяжущих. Общий признак: **нанобетон** обладает теми или иными преимуществами благодаря особой структуре, задаваемой на нано- и микроуровнях. При этом нанобетонами могут быть названы бетоны совершенно различных классов и марок [3].

Спектр наноматериалов, применяемых для модификации, очевидно, может включать в себя лишь наночастицы, обладающие необычными электрофизическими свойствами. Только в этом случае для получения значимых эффектов можно обойтись каталитическими количествами таких частиц. В противном случае использование метода наномодификации при производстве тоннажных изделий оказывается экономически невыгодным.

Удачной иллюстрацией этого могут служить открытые и изученные на нашем предприятии углеродные наночастицы – астралены [2,4]. Недавние наши теоретические исследования показывают, что на поверхности этих частиц осуществляются гигантские электромагнитные резонансы [5]. Именно этим эффектом можно объяснить открытое ранее экспериментально явление структурированного роста цементного камня (см. обсуждавшиеся выше электронно-микроскопические фотографии цементного камня).

Следующим из методов, используемых нами в технологии нанобетона, является применение базальтовой микрофибры (длина 100 – 500 мк, толщина 8 – 10 мк). Такая фибра, аппретированная астраленами, не только обеспечивает микромодификацию цементного камня, но и является удобным инструментом равномерного распределения макроколичеств (1 – 10 г на тонну) астраленов в бетоне.

И, наконец, о последнем методе, использованном в технологии нанобетона. Речь идет об открытом нами эффекте значительного усиления пластифицирующих свойств суперпластификаторов при введении в них углеродных наночастиц. Первоначально эффект был открыт для астраленов и подобных им частиц фуллероидной природы [6].

Эффект состоит в значительном (на 2 – 3 класса, т.е., например, от П2 до П4 или от П3 до П5) усилении пластифицирующих свойств суперпластификаторов при введении в них малых количеств углеродных наночастиц. Существенно, что эффект наблюдается как для пластификаторов полиметиленнафталинового, так и для поликарбоксилатного ряда. С помощью него можно, например, при небольшом удорожании увеличить эффективность действия классического С-3 до уровня новейших препаратов фирм Zika или Basf.

Существенно также, что наличие эффекта не зависит от химической природы суперпластификатора, а, следовательно, имеет физическую природу и состоит, по-видимому, в дополнительном раскрытии глобулярно организованных цепей водорастворимого полимера, коим является суперпластификатор.

Масштабное использование рассматриваемого эффекта до последнего времени сдерживалось тем обстоятельством, что углеродные наночастицы нерастворимы в воде (да и в любом другом растворителе). Поэтому приходилось применять коллоидные растворы, что тут же приводило к возникновению проблемы устойчивости последних. Различные паллиативные решения (вроде использования ПАВов) не устраняли проблему в целом.

Кардинальное решение данного вопроса было найдено в НТЦ ПН, когда нам удалось синтезировать гидрофильные кластеры углерода. Водные (истинные) растворы этих кластеров обеспечивают такое же (если не более сильное) увеличение эффективности действия суперпластификаторов, а стоят на порядок дешевле.

Испытания данных препаратов в настоящее время заканчиваются в НТЦ Прикладных Нанотехнологий; до их окончания мы не считали возможным открытое опубликование результатов.

Литература

1. Пономарев А.Н. Технико-экономические аспекты и результаты практической модификации конструкционных материалов микродобавками нанодисперсных фуллероидных модификаторов // Вопросы материаловедения, № 3(35), 2003. С. 49 – 57.
2. Пономарев А.Н., Никитин В.А. Полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа и способ их получения, патент РФ на изобретение № 2196731, 2002 г.
3. Пономарев А.Н. Нанобетон – концепция и перспективы. 1. Синергизм наноструктурирования цементных вяжущих и армирующей фибры // Строительные материалы, № 5, 2007. С. 2-4.
4. Пономарев А.Н., Юдович М.Е. Многослойные полиэдральные наночастицы тороидальной формы. Заявка на выдачу патента РФ № 2008117759/15(020447), приоритет от 23.04.2008.
5. Пономарев А.Н., Юдович М.Е., Груздев М.В., Юдович В.М. Взаимодействие электрического поля с неметаллическими наночастицами. Часть I. Теоретическая оценка топологического фактора. ЖЭТФ, 2008, в печати.
6. Юдович М.Е., Пономарев А.Н. Наномодификация пластификаторов, регулирование их свойств и прочностных характеристик литых бетонов // Стройпрофиль, №6(60), 2007. С. 49-51.

Технология возведения фундаментов – «свая в трубе»

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

Проблема рационального проектирования фундаментов является одной из актуальных в области фундаментостроения. Особенно остро эта проблема стоит при строительстве в сложных инженерно-геологических условиях, в которых наиболее целесообразным является применение свайных фундаментов. Доля затрат на возведение подземной части зданий и сооружений в таких грунтовых условиях составляет до 20%.

Развитие фундаментостроения направлено по пути разработки новых, экономичных и надежных конструкций фундаментов и методов их устройства, обеспечивающих повышение несущей способности грунтов в основаниях, более полного использования несущей способности материала фундаментов.

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. Применение открытых снизу стальных трубчатых свай способствует сокращению объемов и сроков производства строительных работ, расходов рабочей силы и материала свай за счет более рациональной работы поперечного сечения ствола под расчетной нагрузкой.

Основным недостатком металлических свай-оболочек является их коррозия. Железобетонные сваи экономичны, но их несущая способность невысока.

Технической задачей технологии было желание объединить преимущества того и другого вида свай. Один из вариантов такого объединения рассмотрен ниже.

В данной технологии погружают в грунт стальную трубчатую сваю с открытым нижним концом и возводят ростверк. После погружения трубчатой сваи в образовавшееся внутри её полости грунтовое ядро вводят продольные перегородки, а в грунтовые ячейки между перегородками и стенками сваи вводят дополнительные объемы материалов и подают дополнительную энергию, преимущественно в нижнюю часть ядра. Таким образом упрочняют грунтовое ядро, создают дополнительные радиальные сжимающие напряжения в грунте ядра, обеспечивают дополнительные трение и сцепление его со стенками сваи и превращают её в квазимонолитный фундамент глубокого заложения.

Сущность предложения поясняется чертежами. Устройство на рис. 1 и 2 содержит ростверк 1 на бетонной подготовке толщиной S_0, опирающийся на трубчатую сваю 2 и грунтовое ядро 3, в которое погружены дополнительные внутренние сваи: например, свая 4 с продольными лопастями 5 и монолитные сваи 6 и 7. На рис. 3, 4 дополнительная свая 8 снабжена утолщением в виде нескольких соединенных с ней патрубков 9, которые одновременно служат и направляющими.

В качестве дополнительных внутренних свай 4, 6, 7 и 8 могут быть применены сваи любого рода и конфигурации.

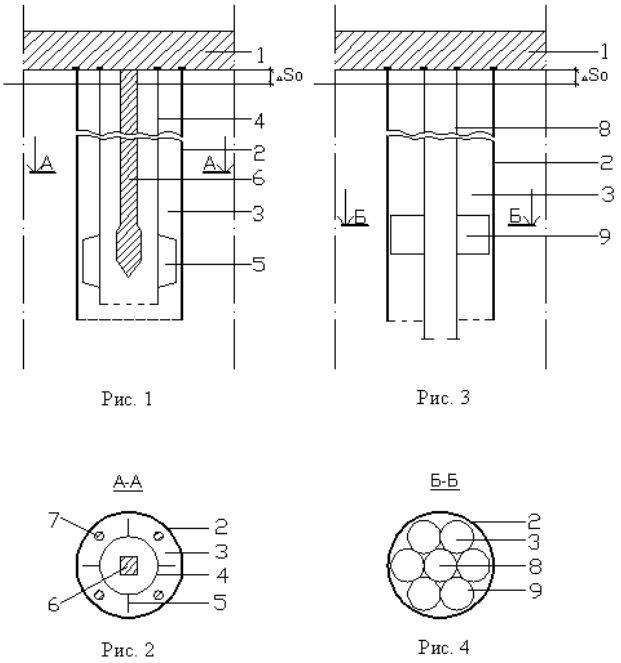


Рис. 1 - 4. Технология возведения фундаментов – «свая в трубе»

В качестве материалов могут быть использованы твердые (все типы свай и др. устройства), сыпучие (грунтовые, бетонные, порошковые и др.), жидкие (расширяющиеся цементные растворы и др. закрепляющие составы), газообразные (воздух, закрепляющие смеси), причем текучие материалы могут быть применены в оболочках.

В качестве энергии можно использовать тепловую и электрическую для обжига, плавления, замораживания и электрохимического закрепления грунтов ядра в полости трубчатой сваи, чем обеспечивают упрочнение и сцепление ядра со стенками сваи и исключают возможность проталкивания ядра вверх при осадке сваи под воздействием сжимающих нагрузок, передаваемых от ростверка.

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

При погружении трубчатой сваи 2 в её полость входит грунт в виде ядра 3 цилиндрической формы, поскольку свая легко прорезает толщу грунта основания своими тонкими стенками. При этом несущая способность её по грунту будет малой. Для повышения эффективности трубчатой сваи 2 в грунтовое ядро 3 погружают вторую трубчатую сваю 4, усиленную лопастями 5, и тем самым упрочняют грунтовое ядро. Трение грунта в узких ячейках между трубами 2 и 4 тормозит его проталкивание вверх и повышает несущую способность устройства.

Дополнительно грунтовое ядро внутри трубы 4 закрепляют погружением дополнительной сваи второго порядка, например монолитной сваи 6 (рис. 1 и 2). Для закрепления ядра в ячейках между трубчатой сваей 2 и трубчатой сваей 4 с лопастями 5 в ячейки погружают дополнительные сваи третьего порядка, например, монолитные сваи 7. И в этом случае трубчатая свая 2 будет работать как монолитный фундамент глубокого заложения, поскольку весь грунт ядра будет заклинен в узком зазоре между трубами 2 и 4 и напряжен сжатием в радиальном направлении, при введении сваи 6 в грунтовое ядро трубы 4.

Устройство на рис. 3 и 4 работает следующим образом. Дополнительная свая 8 и её трубчатое утолщение в виде патрубков 9 выполняют роль перегородок и расчленяют грунтовое ядро 3 в поперечном сечении на отдельные ячейки, грунт в которых «самозапирается» за счет сил трения и сцепления со стенками патрубков 9 и тем препятствует его проталкиванию вверх. Для повышения эффекта «самозапирания» грунта патрубки могут быть выполнены изогнутыми по винтовой линии. В этом случае утолщение играет роль плиты, перекрывающей поперечное сечение грунтового ядра 3 и тем самым омоноличивающей его с трубчатой сваей 2.

Вариантом устройства перегородок может быть их выполнение в виде шпунтовых стенок.

Расчет площади сечения дополнительной сваи

Дополнительная свая предназначена для получения дополнительной несущей способности по сравнению с обычной трубчатой сваей (если не произошло «самозапирание» ядра).

Расчет площади сечения дополнительной сваи проводился по методу линейно деформируемого слоя конечной толщины [1].

Как известно [10], относительная объемная деформация

$$\varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{\Delta V}{V}. \quad (1)$$

В условиях невозможности бокового расширения грунта (одноосная деформация)

$$\varepsilon_v = \varepsilon_z = \frac{(e_1 - e_2)}{1 + e_1} \ \ или \ \ d\varepsilon_v = d\varepsilon_z = -\frac{de}{1 + e_1}, \quad (2)$$

где e_1 и e_2 – коэффициенты пористости до и после снятия нагрузки.

С другой стороны, коэффициент уплотнения (сжимаемости) для спрямленного участка компрессионной кривой

$$a = \frac{(e_1 - e_2)}{\sigma_z^{//} - \sigma_z^{/}} \ \ или \ \ a = \frac{\beta_0 (1 + e_1)}{E} \ \ при \ \ \beta_0 = \frac{(1 - \xi)(1 + 2\xi)}{1 + \xi} = 1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu} \ \ и \ \ \mu = \frac{\xi}{1 + \xi}, \quad (3)$$

где σ_z – соответствующие пористостям напряжения в грунте по кривой компрессии;

β_0 – коэффициент влияния бокового давления (0,74 – супеси; 0,62 - суглинки; 0,4 – глины) [5];

E - модуль деформации [5];

ξ - коэффициент бокового давления грунта (для 0,35…0,75 – от рыхлого песчаного к плотному влажному глинистому) [5];

μ - коэффициент Пуассона (поперечного расширения грунта) (0,3…0,42 – от супеси к глине) [5].

Из (2) с учетом (3) имеем

$$\varepsilon_z = a\frac{(\sigma_z^{//} - \sigma_z^{/})}{1 + e_1} \ \ или \ \ \sigma_z^{//} = \sigma_z^{/} + \frac{\varepsilon_z (1 + e_1)}{a}. \quad (4)$$

Эти уравнения позволяют решать многие практические задачи.

Из (1) имеем уменьшение объема грунта

$$\Delta V = V_1 - V_2 = V_1 \varepsilon_z \ \ и \ \ V_2 = V_1 (1 - \varepsilon_z). \quad (5) \text{ и } (5а)$$

Для случая технологии «свая в трубе» уменьшение объема грунта однозначно описывается уменьшением площади сечения грунтового ядра (при погружении в него дополнительной сваи)

$$\Delta A = A_1 - A_2 = A_1 \varepsilon_z \ \ и \ \ A_2 = A_1 (1 - \varepsilon_z). \quad (6) \text{ и } (6а)$$

где ΔA - площадь сечения дополнительной сваи (рис. 5)

A_1 и A_2 – площади сечения грунта ядра соответственно до и после погружения дополнительной сваи в полость трубы.

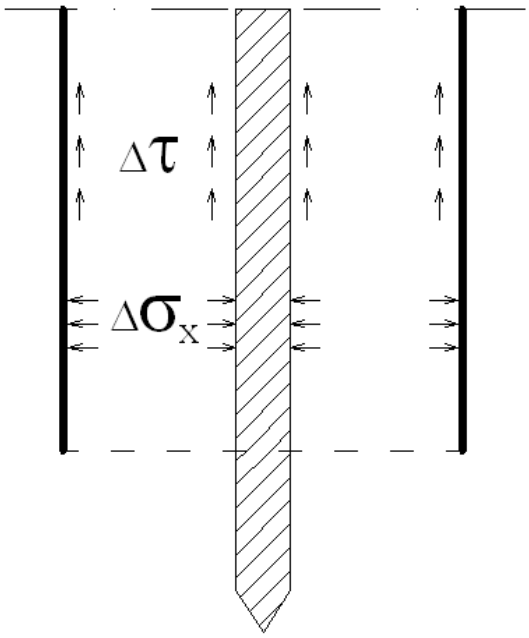


Рис. 5. Продольное сечение трубосваи

После применения подстановки

$$\varepsilon_z = 2\varepsilon_x \ и \ \sigma_z = \sigma_x, \tag{7}$$

приведенные ниже зависимости позволяют получать приближенное значение сечения ΔA дополнительной сваи при заданном значении нормального давления $\sigma_x^{/}$ грунта ядра на стенку трубы, а также решать и обратную задачу.

$$\Delta A = 2A_1\varepsilon_x \ или \ \varepsilon_x = \frac{0{,}5\Delta A}{A_1}. \tag{8}$$

$$и \ \varepsilon_x = \frac{0{,}5a\left(\sigma_x^{//} - \sigma_x^{/}\right)}{1+e_1} \ или \ \Delta\sigma_x = \sigma_x^{//} - \sigma_x^{/} = \frac{2\varepsilon_x\left(1+e_1\right)}{a}. \tag{9}$$

$$\Delta\tau_z = \Delta\sigma_x \cdot tg\phi_0. \tag{10}$$

$$\Delta\tau_z = \Delta f, \tag{11}$$

где *f* – сопротивление на боковой поверхности сваи.

В таблице 1 сведены значения нормального давления $\Delta\sigma_x$ грунта ядра на стенку трубы и по ним построен график зависимости (рис. 6).

Таблица 1. Значения нормального давления $\Delta\sigma_x$ грунта ядра на стенку трубы в зависимости от площади сечения дополнительной сваи

№ п/п	β_0	a, см²/кгс	ΔA, см²	ε_x	$\Delta\sigma_x$, кгс/см²	$\Delta\tau_z$, кгс/см²
1	0,77	0,010	100	0,004	1,50	0,49
2	0,77	0,010	200	0,009	3,00	0,97
3	0,77	0,010	300	0,013	4,50	1,46
4	0,77	0,010	500	0,022	7,50	2,44
5	0,77	0,010	1000	0,045	15,01	4,87

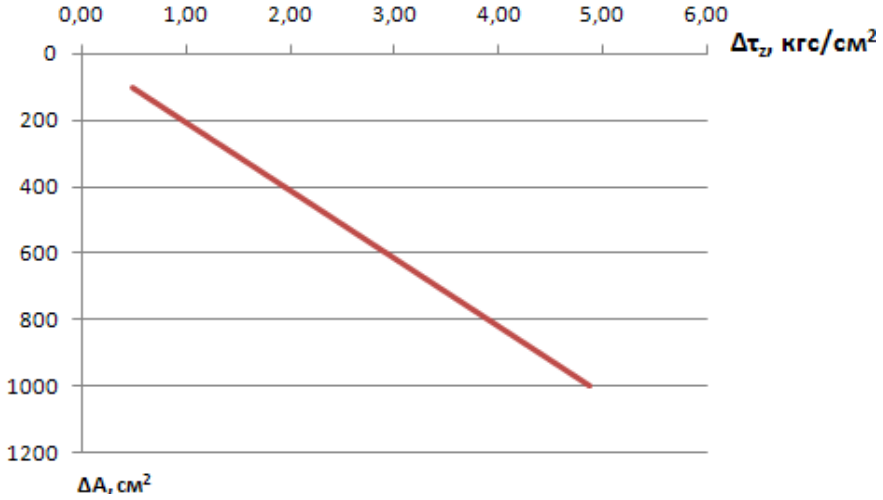


Рис. 6. График зависимости значений давления $\Delta\sigma_x$ в зависимости от площади сечения дополнительной сваи

Отметим следующие преимущества предлагаемых технических решений:

— они сочетают в себе положительные свойства двух типов свай (стальные трубчатые и железобетонные монолитные) и уменьшают их отрицательные свойства за счёт того, что трубчатая свая будет работать как фундамент глубокого заложения с площадью опирания на грунт, равной площади сечения “брутто” трубчатой сваи. Несущая же способность такого фундамента по материалу будет складываться из несущей способности стали и железобетона;

— они позволяют создать фундамент с высокой несущей способностью с помощью обычных строительных средств;

— погружение внутренних дополнительных свай позволяет управлять степенью упрочнения грунтового ядра в процессе возведения трубчатых свай путем изменения числа дополнительных свай, их диаметра и глубины погружения;

— способ относится к щадящим окружающую среду технологиям, поскольку предусматривается лишь погружение тонкостенных (режущих) трубчатых свай. Погружение элементов сваи производится поэтапно, а влияние динамики погружения внутренних дополнительных свай при этом локализуется грунтовым ядром внутри трубчатой сваи. При этом внутренние сваи имеют и относительно меньшие параметры, и, соответственно, меньшую динамику их погружения.

Список литературы

1. Бугров А.К. Механика грунтов: Учеб. Пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007.
2. Гожа В. И., Наймарк О. С. Глубоководный причал комбинированной конструкции из стальных элементов. — СПб: «Судостроение», 2005 г.
3. 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.
4. Иванов П.А. Грунты и основания гидротехнических сооружений. Механика грунтов: Учеб. для вузов. М.: Высшая школа, 1991. - 447 с.
5. Крамаренко А. В. Особенности работы свай кольцевого сечения в процессе их осевого статического нагружения. Сб. научн. тр. ОАО «Ленморниипроект». СПб., 2000 г., с 114–122.
6. СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений».
7. СНиП 2.02.03.-85 «Свайные фундаменты».
8. СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов».
9. Справочник проектировщика промышленных и гражданских зданий и сооружений: расчётно-теоретический/Под редакцией А.А. Уманского. – М.: Госстройиздат, 1960. 1040 с.
10. ТСН 50-302-96 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге».

Перспективные технологии применения монолитного пенобетона для теплоизоляции трубопроводов

Аспирант И.А. Лундышев

Проблема тепловой изоляции трубопроводов стоит в нашей стране, наверно, острее всего. Обусловлено это тем, что ни одна другая страна не имеет такого количества хорошо освоенной территории в зоне вечной мерзлоты, и ни одна страна не сталкивается с теми сложностями, которые необходимо преодолевать строителям при развитии нефте- и газодобычи. Кроме того, долгие зимы, практически, на всей территории России диктуют использование эффективных теплоизоляционных материалов, долговечных и не вызывающих коррозии, для предотвращения разнообразных жилищно-коммунальных катастроф и прерывания отопления в жилых кварталах. Сложность конструктивных решений магистральных и промысловых трубопроводов, суровые природно-климатические условия северных районов требуют максимального использования противокоррозионной и тепловой изоляции на трубах. А в условиях вечной мерзлоты необходимость применения тепловой изоляции трубопроводов обусловлена необходимостью предотвращения растепления грунта и, следовательно, деформации трубопроводов.

Проблемы существующих технологий теплоизоляции

В настоящее время для теплоизоляции трубопроводов в основном используются изоляционные материалы на полимерной основе, которые имеют ряд существенных недостатков. Это ограниченная температура теплоносителя (до 130 ^{0}С), горючесть, дымообразующая способность и токсичность при горении. Для обеспечения полной пожарной безопасности, например, рекомендовано устраивать при надземной прокладке трубопроводов вставки длиной 3 м через каждые 100 м длины трубопровода [1]. При попадании влаги на пенополиуретан (ППУ) происходит разрушение изоляционного покрытия и интенсивная язвенная коррозия стальной трубы, в связи с чем требуется устанавливать на трубопроводах с ППУ изоляцией системы оперативного дистанционного контроля (ОДК) состояния влажности пенополиуретана [2]. Все это ведет к удорожанию труб с ППУ изоляцией, а также увеличивает эксплуатационные расходы. Практика эксплуатации теплотрасс с ППУ изоляцией показала, что качество изоляции значительно падает после подачи теплоносителя. Это происходит, как правило, в течение первых 3-х месяцев после установки, видимо, это связано с качеством изоляции, а также с процессами перемещения конденсированной влаги.

Так часто упоминаемый срок службы ППУ теплопроводов в течение 30 лет возможен при эксплуатации системы с температурой теплоносителя не более 120 ^{0}С и рассчитанным количеством температурных нагружений теплосети. Установлено, что при воздействии температуры +140 °С предел прочности на сжатие пенополиуретана с плотностью 75 кг/м^3 падает до нуля в течение приблизительно 15 месяцев. Все это диктует ограничения, как по температуре теплоносителя, так и по заглублению укладываемых теплопроводов.

Альтернативой является «скорлупный» метод теплоизоляции с использованием минераловатных утеплителей. Основным недостатком данного метода является скапливающийся между трубой и скорлупой конденсат, не имеющий выхода и активизирующий коррозию стальной трубы.

История применения пенобетонных теплоизоляторов в России

Однако существует и разработанный в нашей стране способ утепления трубопроводов ячеистыми бетонами. Теплоизоляция производилась следующим образом: отрезок трубопровода в заводских условиях помещался в металлическую форму, заполнялся пенобетоном, а затем помещался в автоклав. После проведения полной термической обработки, трубопровод с нанесённой теплоизоляцией покрывался пергамином и отправлялся заказчикам. Пенобетон в качестве теплоизоляции паро- и теплопроводов применяли на «Изоляционно-сварочном заводе» в Ленинграде с 1948 года. Этот опыт показал, что даже после 25-30 лет эксплуатации трубопроводов в условиях сложных питерских грунтов пенобетон полностью сохраняет свою структуру, его прочность увеличивается более чем на 50%, поверхность стальных труб под пенобетоном не имеет следов коррозии, адгезия пенобетона к стальной трубе с течением времени не уменьшается.

Почему же этот способ не был сильно распространён? Дело в том, что теплоизоляционный пенобетон, даже после автоклавирования, достаточно хрупок на изгиб, и при нарушении технологии погрузочно-разгрузочных работ, когда предизолированные пенобетоном трубы сбрасывались на землю, при нарушении технологии укладки в траншею и т.п. в пенобетонном слое появлялись многочисленные трещины и сколы, что не добавляло популярности данному виду теплоизоляции.

Тем не менее, при выполнении технологии пенобетонная изоляция показала свою жизнеспособность на практике: на 01.02.2002 г. только в ГУП "ТЭК Санкт-Петербурга" около 1000 км тепловых сетей с такой теплоизоляцией находится в эксплуатации более 25 лет и порядка 1350 км – от 15 до 25 лет.

Дальнейшее развитие направления

Решить основные проблемы автоклавной пенобетонной (АПБ) теплоизоляции можно, сложив существующий опыт эксплуатации трубопроводов и современные технологии монолитного сверхлёгкого пенобетона. Это позволяет решить фундаментальное ограничение АПБ теплоизоляции - повреждения при укладке, исключая многочисленные перегрузки и перетаскивание предизолированных труб и плетей и производя заливку монолитного пенобетона уже прямо на смонтированный трубопровод.

При теплоизоляции трубопроводов монолитным пенобетоном заливка происходит в пространство между трубой и несъемной опалубкой, что практически исключает дефекты изоляции.

Технология предусматривает установку на трубопровод центраторов, на которые крепится несъёмная опалубка. После этого происходит постепенное заполнение опалубки пенобетоном через технические отверстия.

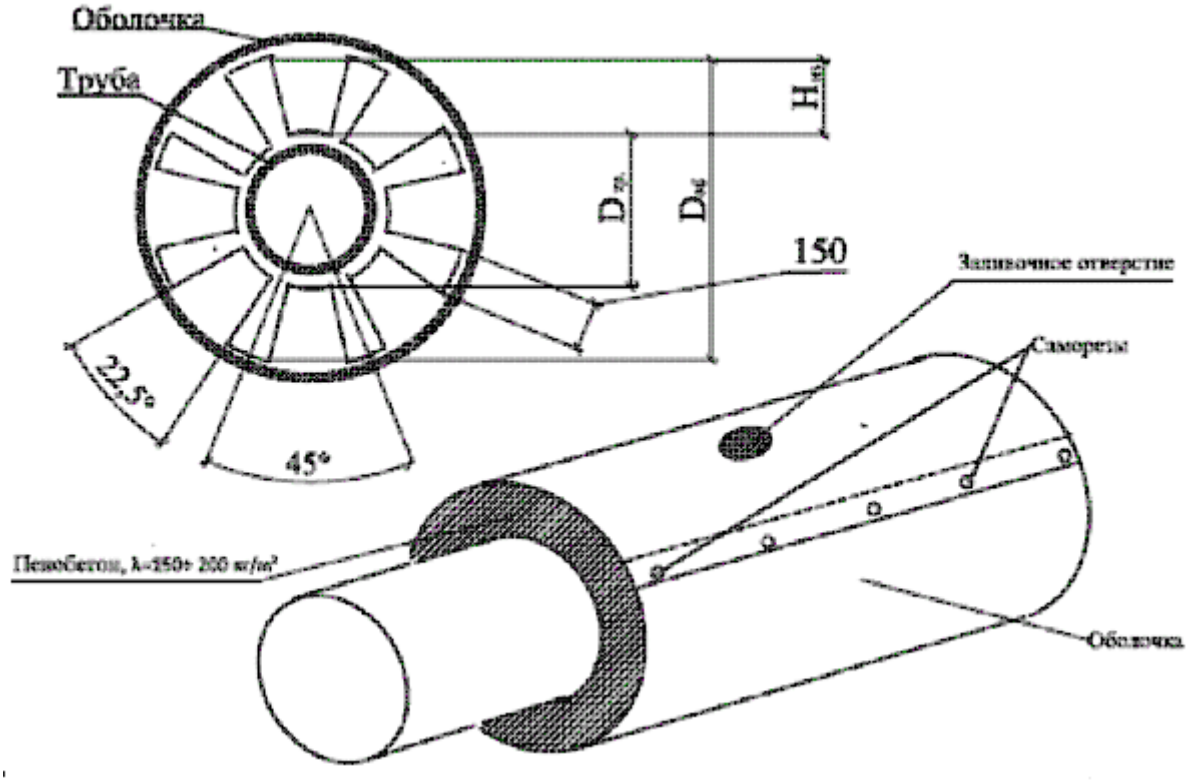


Рисунок 1. Схема центратора-змейки и крепления оболочки [3]

Применение технологии потребовало разработки нормативной документации и согласований в проектных институтах. При сотрудничестве с ОАО «ВНИПИэнергопром» РАО «ЕЭС России» разработало полный спектр необходимой документации, технические решения, технические карты, стандарты предприятия, технологический регламент.

Потребовалось проведение многих экспериментов с различными вариантами опалубок и центраторов, причём эти разработки ведутся постоянно. В настоящий момент отрабатываются металлические и неметаллические опалубки и центраторы, производятся как канальные, так и бесканальные заливки трубопроводов пенобетоном, отрабатываются как способы возведения новых трубопроводов, так и действия на уже возведённых с целью замены иных видов теплоизоляции.

С использованием монолитного пенобетона уже несколько лет происходит постепенное утепление тепло- и паропроводов ОАО «Киришиоргнефтесинтез». Произведены работы по утеплению теплопроводов на ЛЭМЗе. Произведены утепления водопроводов и канализации на собственных производственных площадях, многочисленные работы по утеплению трубопроводов при строительстве коттеджей. Ведутся переговоры о производстве совместных работ по теплоизоляции трубопроводов с Иркутскэнерго.

Сверхлегкий пенобетон по своим теплоизоляционным качествам не уступает ППУ изоляции, сохраняя при этом высокую надежность, долговечность, экологическую безопасность и простоту эксплуатации, а по теплопотерям на трубопроводах даже превосходит ее.

Монолитность пенобетона обеспечивает отсутствие мостиков холода, антикоррозийную защиту и невозможность расхищения теплоизоляции.

Пенобетон обладает замечательными адгезионными свойствами, идеально прилипая к горизонтальным и вертикальным поверхностям из любого материала и любой формы.

Высокая технологичность монолитного пенобетона дает возможность прокладывать трассу на любой местности, а также в стесненных городских условиях.

Толщина пенобетонного слоя рассчитывается по нормированной плотности теплового потока в соответствии со СНиП 41-02-2003.

Возможна изоляция трубопровода с несколькими несущими трубами в единой конструкции – от 2-х и более.

Таблица 1.Сравнительная характеристика пенобетона и других теплоизоляционных материалов.

Теплоизолятор	**Плотность кг/м^3**	**Коэффициент теплопроводности, ВТ/м^2 ^{0}К**	**Термическая стойкость, ^{0}С**	**Стойкость к намоканию**	**Защита от коррозии при намокании**	**Горючесть**
Пенобетон [4]	200-250	0, 057-0, 06	-180 +600	Устойчив	Да	НГ
Минеральная вата	15-150	0,052-0,058	-60 +700	Нестойкая	Нет	Г1 - НГ
Пенополистирол	15-35	0,025-0,035	-180 +90	Устойчив	Нет	Г1 – Г4
Пенополиуретан (жесткий)	35-160	0,029-0,035	-60 +130	Нестойкий	Нет	Г2

Стоит также отметить, что монолитная пенобетонная изоляция образует на стальной поверхности оксидную пленку, которая препятствует коррозии наружной поверхности изолируемого объекта даже при намокании пенобетона.

Пенобетон - экологически чистый материал, в процессе эксплуатации он не выделяет вредные, пожароопасные и взрывоопасные, токсичные вещества, а также болезнетворные бактерии, вирусы и грибки. В отличие от полимерных материалов, с течением времени пенобетон только набирает прочность.

Профильные научно-исследовательские институты страны - ОАО "ВНИПИэнергопром", ОАО "Теплопроект" - после многочисленных исследований и испытаний рекомендуют применение пенобетонных конструкций для теплоизоляции трубопроводов.

Преимущества пенобетона:

1. Возможность применения для всех существующих видов прокладок трубопроводов (подземная бесканальная и канальная, надземная и т.д.).
2. Высокая допустимая температура применения, что позволяет использовать данную конструкцию тепловой изоляции в водных и паровых тепловых сетях, технологических трубопроводах с температурой теплоносителя до +600°С.
3. Высокий предел прочности пенобетона на сжатие (не менее 0,4 МПа) допускает возможность применения труб с пенобетонной изоляцией в различных грунтовых условиях при различной глубине прокладки (под проезжей частью дорог, в просадочных, водонасыщенных грунтах и т.п.).
4. Отсутствие коррозионного воздействия на стальные трубы и защита от коррозии (на границе раздела между металлом трубы и пенобетонным слоем создается высокощелочная среда

pH=12, образуется труднорастворимая гидроокись железа, формирующая водонепроницаемый слой, который защищает трубу от воздействия влаги).

5. Долговечность пенобетона, соизмеряемая с расчетным сроком службы стальных трубопроводов (более 25 лет), что подтверждается многолетней эксплуатацией в теплосетях г. Санкт-Петербурга.
6. Абсолютная негорючесть и экологичность применяемых материалов позволяет использовать пенобетонную изоляцию в проходных каналах, тоннелях, в пределах жилой застройки населенных пунктов, на территории промышленных предприятий с высокой пожароопасностью без принятия дополнительных мер безопасности.
7. В пенобетонной теплоизоляции не требуется согласно СНиП 41 –02 – 2003 ("Тепловые сети") установки системы дистанционного контроля влажности (ОДК).
8. Изоляция монолитным заливочным пенобетоном непосредственно на трассе позволяет сократить транспортные расходы и значительно повысить качество строительства.

Вместе с тем, стоит отметить, что технология требует дальнейшей проработки в области применения различных вандалоустойчивых опалубок. Опыт применения технологии в отдалённых районах показал, что использование наиболее подходящих с точки зрения технологии металлических опалубок в условиях неохраняемого трубопровода приводит к попыткам снять её и порче защитного слоя. Применение же неметаллической опалубки резко усложняет проведение работ.

Исходя из высоких качественных показателей монолитного пенобетона, представляется целесообразным изучить данную технологию с точки зрения применения неметаллических опалубок или же усиления вандалоустойчивости металлических опалубок.

Поскольку математическое моделирование и расчёты конструкций уже существуют, то наиболее предпочтительным методом решения данной технологической проблемы представляется проведение серии натурных опытов по утеплению труб с использованием разнообразных неметаллических опалубок и вандалоустойчивых металлических опалубок.

Список литературы

1. СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети», 2003. 15 с.
2. СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети», 2003. 17 с.
3. «Типовые решения прокладки трубопроводов тепловых сетей в изоляции из пенобетона «СОВБИ» диаметром Ду 50-600 мм» 313.ТС-0015.000, 2007. 26 с.
4. Протокол испытаний № 504 от 24.07.2002 г. Система сертификации ГОСТ Р «Испытательный центр «СПбГАСУ».

Проблемы достройки энергоблоков АЭС после длительной консервации

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

В конце 80-х – начале 90-х годов XX века строительство многих атомных электростанций в СССР и странах Варшавского договора было приостановлено. Это обуславливалось сложным политическим и экономическим положением постсоветских государств. Сейчас объекты советских времен начинают восстанавливать и достраивать.

Так, в Болгарии было принято решение о достройке АЭС «Белене», сооружение которой было начато в 1984 году и приостановлено в 1990. Как известно, тендер на восстановление этого объекта выиграла российская компания ЗАО «Атомстройэкспорт». В начале этого года ею было подписано контрактное соглашение на сооружение АЭС «Белене». Стоимость проекта составляет 3,997 млрд. евро за 2 блока по 1000 МВт[1].

В связи с актуальностью вопроса достройки АЭС хотелось бы отметить проблемы, возникающие из-за длительной консервации, и пути их решения.

В обобщенном подходе эти проблемы и трудности можно разделить на шесть характерных групп. К первой группе относится длительное неблагоприятное атмосферное воздействие на незавершенные строительством конструкции зданий и сооружений и частично смонтированное оборудование. Для борьбы с этим явлением необходимо проведение ряда специфичных работ, ранее не учитываемых при планомерном равномерном строительстве энергоблоков. К этой группе можно отнести работы по:

- обследованию незавершенных строительством зданий и сооружений, смонтированного оборудования и элементов инженерных и специальных систем;
- проведению ремонтно-восстановительных операций на основе документации, составленной по результатам обследования;
- определению способности конструкций и оборудования обеспечить проектные характеристики и расчетный ресурс.

Ко второй группе проблем следует отнести проведение большого объема работ по доводке конструктивов и оборудования до уровня вновь появившихся или уточненных требований. К этим работам следует отнести:

- устранение отступлений от требований НТД;
- повышение безопасности энергоблоков и доведение ее до соответствия уточненным требованиям;
- усиление физической защиты энергоблоков;
- выполнение дополнительных требований экологии, экологической безопасности.

К третьей группе относятся вопросы модернизации оборудования и систем, доведения их до уровня современного состояния науки и техники. Наиболее интенсивно совершенствуются ГЦН, АСУТП, генераторные установки, схемы завязки оборудования в системы и др.

В связи с консервацией строительства энергоблоков при новом развертывании строительных и монтажных работ происходит значительное отступление от типовой технологической последовательности сооружения серийного энергоблока АЭС. Этот процесс приводит к необходимости принятия многочисленных нестандартных технических и технологических решений, что составляет четвертую группу.

В пятую группу трудностей можно включить работы и затраты, связанные с возобновлением работы различных управленческих обеспечивающих и контролирующих структур и насыщением строительства кадрами специалистов и рабочих. Сюда же следует отнести затраты на перебазирование техники, создание необходимых инфраструктур, перемещение рабочих кадров и специалистов.

---

[1] http://www.atomstroyexport.ru/projects/current/project15/

И наконец, к шестой группе проблем относится несоответствие нормативной базы 1984 года по ценообразованию в строительстве современным положениям и порядку исчисления сметной стоимости и составления сметной документации. Кроме того, изменение базовых показателей происходит ежегодно и в значительных объемах.

Все вышеизложенные трудности и проблемные моменты, а также вопросы дисконтирования и инфляции привели к резкому удорожанию строительства энергоблоков АЭС в условиях их достройки. Удорожание может составлять 70-80% от предполагаемой на начальном этапе стоимости строительства. Вместе с этим следует отметить, что спланированная заблаговременная подготовка строительства к консервации позволила бы снизить дополнительные затраты при последующей достройке не менее чем в 2-3 раза. При этом спланированный и продуманный в деталях план достройки уменьшает дополнительные затраты еще на 30-40%.

Одним из направлений повышения эффективности процесса строительства в условиях достройки, реконструкции и расширения АЭС является создание специальных мобильных и интенсивно работающих управленческих структур, а также внедрение синхронизированной технологии.

Оценка радиуса камуфлетной полости при взрыве сферического заряда тэна в горных породах

Д.т.н., профессор В.А. Боровиков, к.т.н., доцент В.К. Сластенко, аспирант И.А. Кадол

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике гражданского строительства наметилась тенденция роста количества и объёма резервуаров для подземных нефтегазохранилищ и емкостей для захоронения токсичных промышленных отходов. Такие емкости образуются камуфлетными взрывами, в том числе с использованием ядерных зарядов.

В связи с этим чрезвычайно актуальна оценка радиуса камуфлетной полости, как в пластичных, так и в скальных горных породах, сооружаемых камуфлетными взрывами с широким диапазоном изменений объёмной концентрации энергии в зарядной камере.

Кроме того, результаты подобных исследований представляют большой интерес при установке камуфлетных свай, включая трубосваи, которые используются при сооружении высокопрочных оснований и фундаментов.

В данной статье приводятся результаты измерений радиуса камуфлетной полости при взрыве заряда тэна плотностью ρ_0*=1,6 г/см*^{3}, массой 1 и 2г в модельных средах и горных породах в широком диапазоне изменения их акустической жёсткости $\rho_п C_p$ ($\rho_п$ - плотность горной породы, *г/см*^{3}, C_p - скорость распространения продольной волны, *м/с*). Работа проводилась с целью определения влияния физико-механических свойств горных пород на размер радиуса камуфлетной полости и давления продуктов взрыва в ней.

На современном этапе развития науки и техники внимание к использованию энергии взрыва в горном деле и строительстве не только не снижается, а напротив – постоянно растёт. Это объясняется тем, что в объёме взрывчатого вещества (ВВ) заключена значительная потенциальная энергия, превышающая *3600 кДж/кг*. Причём мощность взрыва может регулироваться в широком диапазоне значений, обеспечивая заданную степень разрушения от гладкого раскола при контурном взрывании и щадящей отбойке кристаллосодержащих пород до интенсивного дробления.

Актуальность оценки радиуса камуфлетной полости следует из того, что эффективность действия взрыва в горных породах оценивается конечным размером радиуса камуфлетной полости. В случае хрупкого разрушения горных пород согласно [1] зоны дробления и трещинообразования могут быть определены через величину радиуса камуфлетной полости $R_{к.п.}$ по зависимости вида:

$$\bar{r} = \frac{r}{R_{к.п.}}, \qquad (1)$$

где $\bar{r}$ - относительная величина зоны дробления и трещинообразования;

r - текущий размер зоны дробления и трещинообразования, $м$;

$R_{к.п.}$ - радиус камуфлетной полости, $м$.

В свою очередь, при взрыве заряда в грунтах в работе [2] радиус камуфлетной полости рекомендуется определять по эмпирической формуле вида:

$$R_{к.п.} = (0,4 \div 0,5)\sqrt[3]{G}, \qquad (2)$$

где *G* - масса заряда ВВ, выраженная через тротиловый эквивалент, *кг*.

Профессор Г.И. Покровский [3] для грунтов и горных пород рекомендовал формулу аналогичного вида:

$$R_{к.п.} = (0,1 \div 0,4)\sqrt[3]{G} \qquad (3)$$

Причём меньшее значение коэффициента рекомендуется для скальных горных пород. Подобная формула для оценки радиуса камуфлетной полости в скальных горных породах приведена в монографии Ф.А. Баума [4], а именно:

$$R_{к.п.} = \psi\sqrt[3]{G}, \qquad (4)$$

где ψ*=(0,10÷0,13)* — численный коэффициент.

При известной массе ВВ радиус заряда определяется по формуле:

$$R_{0з} = \sqrt[3]{\frac{3G}{4\pi\rho_0}} \qquad (5)$$

Эта формула является частным случаем энергетической формулы:

$$R_{0з} = \sqrt[3]{\frac{3GE}{4\pi\rho_0}}, \qquad (6)$$

где *E* - энергия используемого ВВ, *ккал/кг*.

Для эталонного заряда тротила плотностью ρ_0*=1600 кг/м*^{3} формула, согласно Ю.С. Яковлеву [5], примет вид:

$$R_{0з} = 0,053\sqrt[3]{G}, м \qquad (7)$$

Если преобразовать формулу (4), перейдя к оценке радиуса камуфлетной полости через радиус заряда в тротиловом эквиваленте, то формула примет вид:

$$R_{к.п.} = (2 \div 2,6)R_{0з} \qquad (8)$$

Моделируя взрыв в хрупких средах на блоках из тиосульфата натрия и каменной соли, В.Н. Родионов с сотрудниками [1] получил значение радиуса камуфлетной полости, близкое к приведённому выше (см. рис. 3 в [1]). Однако, исходя из физико-механических свойств этих материалов, они, согласно классификации профессора А.Н. Ханукаева [6] могут быть отнесены к породам средней акустической жёсткости с $\rho_n C_p$*=(1,7÷4,3)·10*^{3} *г/см*^{3}*·м/с*. А поскольку акустическая жёсткость скальных горных пород – мрамора, гранита, диабаза и других — существенно выше, то и радиус камуфлетной полости в них, очевидно, должен быть значительно меньше, чем 2$R_{0з}$.

В работе [1] для оценки радиуса камуфлетной полости в скальных породах получено уравнение вида:

$$\frac{4}{3}\frac{\pi R_{к.п.}^{\max}\rho_n C_p^2}{E} = 38\left(\frac{\rho_n C_p^2}{250\sigma_{сж}}\right)^{2/3}, \qquad (9)$$

где *E* - энергия взрыва;

ρC_p^2 - ударная сжимаемость породы;

$\sigma_{сж}$ — предельное значение прочности горной породы на сжатие.

Выше приведённое уравнение решается относительно радиуса камуфлетной полости, т.е.:

$$R_{к.п.}^{\max} = \frac{9,5E}{\rho_n C_p^2}\left(\frac{\rho_n C_p^2}{250\sigma_{сж}}\right)^{2/3} \qquad (10)$$

После несложных преобразований формула для оценки радиуса камуфлетной полости в скальных горных породах примет вид:

$$R_{к.п.}^{\max} = 0,2286E\left(\rho_n C_p^2 \sigma_{сж}^2\right)^{-1/3} \qquad (11)$$

Приближенная оценка радиуса камуфлетной полости для скальных пород типа гранита $2,7 г/см^3$ при скорости распространения звука $C_p = 5000 \div 5500 м/с$ показала, что при прочности гранита на одноосное сжатие $\sigma_{сж} = 1700 кг/м^2$ значение радиуса камуфлетной полости существенно меньше значений, приведённых для тиосульфата натрия и каменной соли.

Значения прочности горной породы на сжатие характеризуется некоторой неопределённостью из-за реализации в ближней зоне взрыва сложного напряжённого состояния, сопровождающегося существенным ростом прочности. Поэтому значения радиуса камуфлетной полости оказались существенно ниже зафиксированных в опытах с тиосульфатом натрия (см. рис. 2 в [1]).

Следует отметить, что приведённое значение радиуса камуфлетной полости при взрыве сферического заряда тэна в граните, зафиксированное после распиловки модели, согласно [7], «практически оказалось равным радиусу зарядной камеры». Отсюда следует, что предложенные Г.И. Покровским и Ф.А. Баумом формулы (3) и (4) для определения радиуса камуфлетной полости в скальных горных породах требуют корректировки. С другой стороны, формула (11), согласно В.М. Цветкову, была ориентирована на использование ядерных взрывов, поэтому её использование для химических ВВ требует корректировки с реализацией в полости зарядной камеры температур продуктов взрыва, не способных провоцировать испарения и плавления горных пород. Получение достоверных размеров радиуса камуфлетной полости чрезвычайно актуально в связи с тем, что объём камуфлетной полости при известной адиабате продуктов взрыва адекватно определяет давление и энергию продуктов детонации в ней. Поэтому нами были продолжены эти исследования с использованием современного метода регистрации быстро протекающих процессов – метода импульсной рентгеносъёмки с высокой разрешающей способностью [6].

Методика исследования

Кинематические параметры процесса развития полости зарядной камеры в динамическом режиме регистрировались рентгенографическим методом. Использовавшаяся при этом импульсная рентгеновская установка включила в себя генераторы импульсного напряжения, рентгеновские трубки, вакуумную систему для создания и поддержания в них высокой степени разрежения, цепи задержки срабатывания рентгеновских трубок, зарядные цепи и устройства, а также другие вспомогательные узлы.

Генераторы импульсного напряжения, заряженные через выпрямительное устройство, позволяют получать импульсы с амплитудой $800kB$, которые подаются на электроды рентгеновских трубок. В начальной стадии вакуумного пробоя междуэлектродного промежутка возникает весьма кратковременное $(0{,}15 \div 0{,}20 мкс)$ рентгеновское излучение. Благодаря наличию цепей задержки в разрядных контурах генераторов импульсного напряжения рентгеновские трубки срабатывают поочерёдно с микросекундными интервалами. Длительность излучения каждой трубки не более $2 \times 10^{-7} c$. Линии задержки в разрядных контурах обеспечивали запаздывание срабатывания каждой трубки относительно предыдущей на $2 \div 7 мкс$. Схема измерения временных интервалов между моментами срабатывания трубок обеспечивала формирование и осциллографирование отметок, соответствующих каждой рентгеновской вспышке.

Исследуемый образец помещался в центре взрывной камеры, вокруг которой по дуге сектора в 90° находились острофокусные рентгеновские трубки (рис. 1).

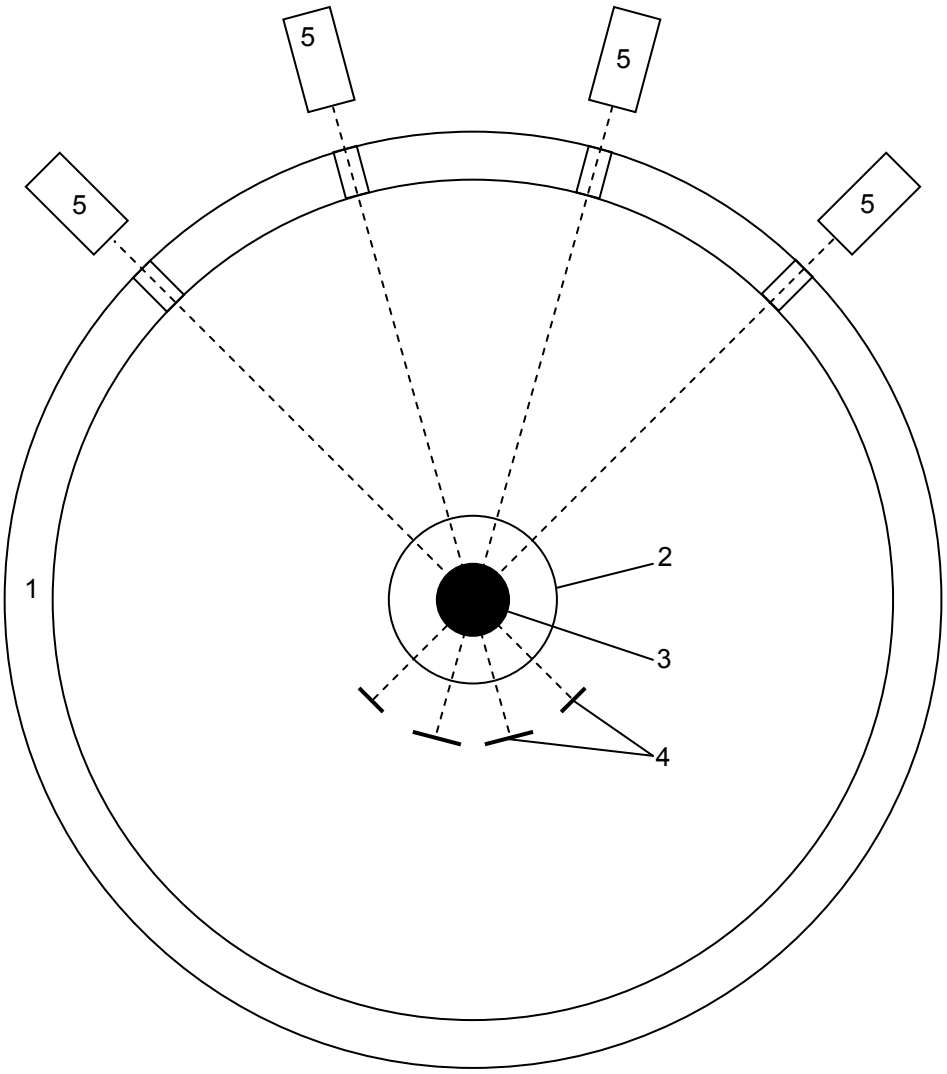
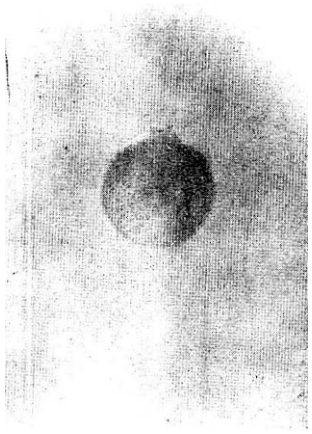


Рис. 1. Схема проведения рентгенографических опытов:

1 – стенка взрывной камеры; 2 – взрываемый образец горной породы; 3 – сферический заряд; 4 – кассеты с рентгеновской плёнкой; 5 – рентгеновские острофокусные трубки.

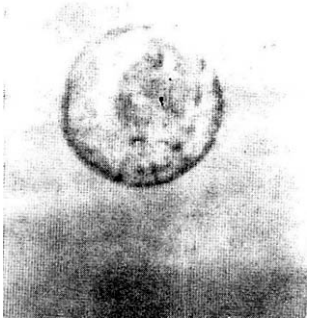
Экспонирование велось на рентгеноплёнки, помещённые в кассеты. Кассеты расположены во взрывной камере строго напротив взрываемого образца и рентгеновских трубок. На рис. 2 приведена типичная серия рентгенограмм при взрыве заряда тэна в модели из горючего сланца.

Расшифровка рентгенограммы сводилась к изменению радиуса полости на фотоотпечатках и снятию временных интервалов, соответствующих приращению радиуса. При этом учитывался коэффициент геометрического увеличения изображений, равный в условиях опыта $1{,}18$.



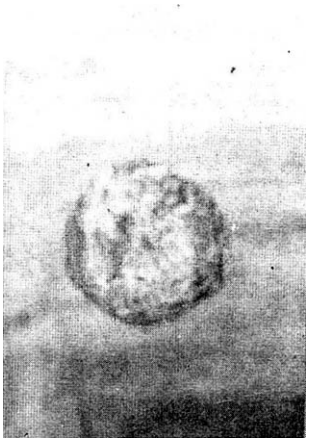
1-й кадр

$t = 0$



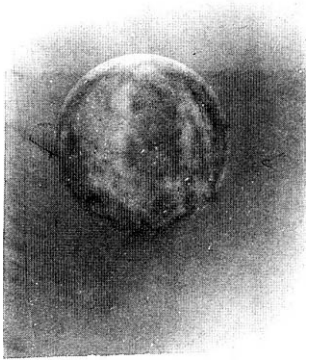
2-й кадр

$t = 4{,}6 мкс$



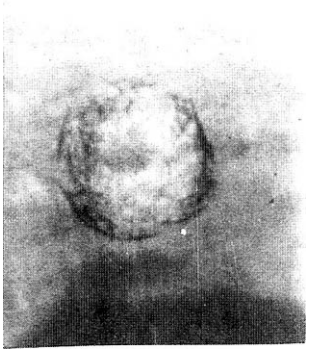
3-й кадр

$t = 6{,}1 мкс$



4-й кадр

$t = 8{,}4 мкс$



5-й кадр

$t = 14{,}3 мкс$

Рис. 2. Схема типичных рентгенограмм взрыва в горючем сланце: 1-й кадр статический, остальные – динамические.

Результаты исследования

Серия типичных рентгенограмм, совмещённая с осциллограммой временного масштаба при взрыве 2-граммового заряда тэна, приведена на рис. 2. Первый кадр серии соответствует исходному статическому положению объекта и экспонируется отдельно. Временная развёртка процесса на последующих кадрах определялась из осциллограмм, где Δt_1 — время между моментом выхода детонационной волны на границу раздела и моментом экспонирования первого динамического кадра; $\Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_4$ — интервалы времени между динамическими кадрами; $\Delta S_1, \Delta S_2, \Delta S_3, \Delta S_4$ — величины смещений стенки полости на соответствующий момент времени, снимаемые с рентгенограмм.

Скорость перемещения стенки полости определялась как средняя скорость на рассматриваемом участке:

$$V_1 = \frac{\Delta S_1}{\Delta t_1} \qquad (12)$$

На основе полученных результатов построен совмещённый график изменения радиуса каверны во времени (рис. 3).

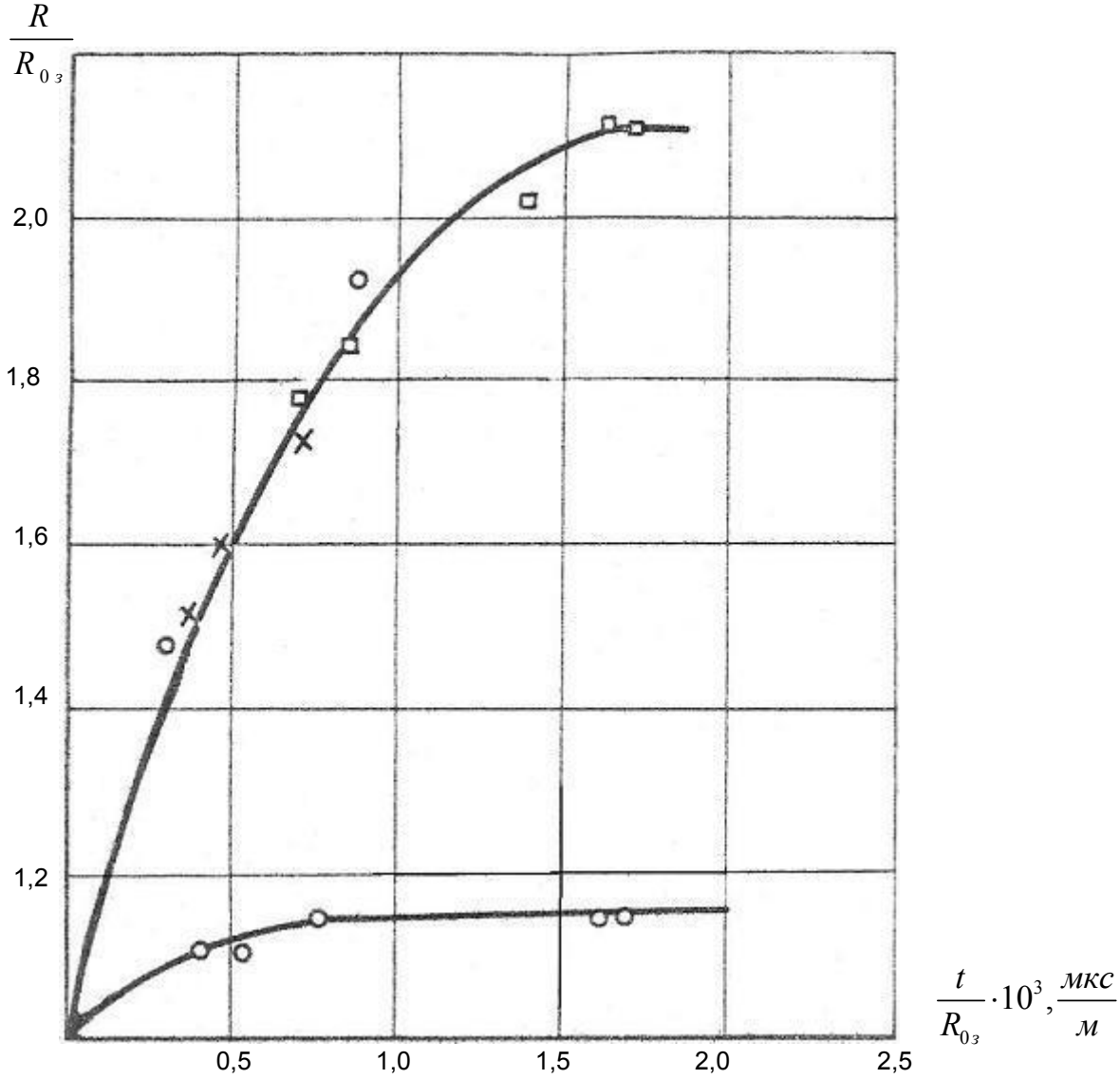


Рис. 3. **Графики увеличения радиуса полости во времени для горных пород: 1 – горючего сланца; 2 – мрамора.**

В таблице 1 представлены результаты экспериментальных измерений параметров камуфлетных полостей в горных породах с существенно различающейся акустической жёсткостью при взрыве заряда тэна массой 1 и 2г, плотностью $1,5 г/см^3$ и соответствующих радиусах заряда $R_{0з} = 5,7 \div 6,7 мм$.

Анализ результатов показал, что развитие котловой полости в горючем сланце и каменной соли при взрыве заряда массой 2г протекает примерно за $14 мкс$, а для заряда 1г — за несколько меньший промежуток времени. Причём в первую половину этого периода происходит основное расширение каверны, и за это время скорость перемещения стенки полости падает наиболее интенсивно. Максимальный радиус каверны в опытах достигал величины $2,4 R_{0з}$ для горючего сланца и $2,2 R_{0з}$ для каменной соли, относящихся к горным породам средней акустической жёсткости, в то время как для гранита и мрамора, относящихся к породам высокой акустической жёсткости, радиус камуфлетной полости находился в диапазоне $1,05 \div 1,15 R_{0з}$.

Таблица 1

Модельные среды и горные породы	Плотность $\rho_n, кг/м^3$	Скорость продольной волны $C_p, м/с$	Радиус полости $R_{к.п.}, мм$	Относительный размер радиуса полости, $R_{к.п.}$
Горючий сланец	130	2000	13,8	2,40
Каменная соль	215	4370	11,5	2,20
Гранит	268	5000	6,0	1,05
Мрамор	270	6000	6,5	1,15

Большее значение радиуса камуфлетной полости в каменной соли по сравнению с горючим сланцем, отличающимся несколько меньшей акустической жёсткостью, объясняется эффектом плавления каменной соли в условиях взрыва химических ВВ, зафиксированным на её поверхности.

Достоверные данные измерения радиуса камуфлетной полости позволяют рассчитать объём камуфлетной полости при взрыве заряда тэна. Воспользовавшись полученными результатами и приведённой в работе [1] адиабатой гексогена, мы произвели приближенную оценку давления продуктов взрыва в камуфлетной полости при взрыве сферического заряда тэна в породах и средах средней и высокой акустической жёсткости. Произведённая в первом приближении оценка давления продуктов взрыва, соответствующая объёму камуфлетной полости при взрыве в породах средней акустической жёсткости, оказалось на уровне $1000 атм$, в то время как для пород высокой акустической жёсткости она оказалась на порядок выше.

Всё вышеизложенное позволяет сформулировать следующие основные выводы:

- Экспериментально установлена относительная величина радиуса камуфлетной полости в скальных горных породах с высокой акустической жёсткостью, равная $R_{к.п.}/R_{0з} \le 1,05 \div 1,15$, что существенно ниже значений, приводимых в литературе;
- Показано, что в полускальных горных породах средней акустической жёсткости величина радиуса камуфлетной полости существенно выше, а именно $R_{к.п.}/R_{0з} = 2,2 \div 2,4$;
- Рекомендуемые в литературе эмпирические формулы для оценки радиуса камуфлетной полости в грунтах не вызывают возражений, но требуют корректировки с учётом акустической жёсткости горных пород, которая существенно зависит от их пористости и водонасыщенности.

Полученные результаты позволяют сделать адекватную оценку давления в полости зарядной камеры и аккумулируемой в ней энергии продуктов детонации. Эти данные могут быть положены в основу концепции эффективного управления бризантным и фугасным действием взрыва.

Литература

1. Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В.М. Исследование развития полости при камуфлетном взрыве. Сб. «Взрывное дело» 64/21, М., «Недра» 1968.
2. Ловля С.А. и др. «Взрывное дело». М., «Недра», 1966.
3. Покровский Г.И. Взрыв. М., «Недра» 1967.
4. Баум Ф.А. и др. Физика взрыва. М., «Наука», 1975.
5. Яковлев Ю.С. Гидродинамика взрыва «СудпроМГИз», 1961.
6. Ханукаев А.Н. Энергия волн напряжений при разрушении горных пород взрывом. М., «Госгортехиздат», 1962.
7. Юревич Г.Г., Трофимов В.Д. Горная геомеханика глубинных взрывов. М., «Недра», 1980.

Экономическая оценка календарных планов строительства сооружений АЭС

Д.т.н. профессор В.З. Величкин, инженер Г.С. Сахаров

Сооружение энергоблоков современных АЭС – это сложный организационно-технологический процесс, в котором участвуют многочисленные предприятия, организации, ведомства, различные фирмы не только России, но и других государств. В процессе строительства привлекаются значительные объемы производственных фондов в виде строительных машин, вспомогательных производств, технологических участков и элементов строительной базы. Одним из аспектов экономической оценки организации строительства может служить стоимость основных производственных фондов, необходимых для осуществления проекта.

Для оценки эффективности функционирования комплекса производственных фондов можно воспользоваться следующей зависимостью

$$Э_{ф} = \sum_{i=1}^{t} Э_{н} \left(\frac{K_i}{Ф_{гн}} - Ф_i\right), \qquad (1)$$

где K_i – величина капитальных вложений, освоенных в i-й год строительства по рассматриваемой организации строительства;

$Э_{н}$ – нормативный коэффициент эффективности производственных фондов;

$Ф_{гн}$ – годовая нормативная фондоотдача в строительстве;

$Ф_i$ – среднегодовая стоимость основных производственных фондов по годам строительства, необходимых для осуществления строительства АЭС.

Другим элементом организации строительства, влияющим на экономические показатели, является приведенный объем незавершенного строительства. Оценка эффективности календарного плана с позиции заложенного объема незавершенного строительства может быть осуществлена по следующей зависимости:

$$Э_{нс} = (НС_{н} - НС_{к})Э_{и}, \qquad (2)$$

где $НС_{н}$ – приведенный объем незавершенного строительства, определенный по нормативному графику в соответствии с планируемым объемам инвестиций по кварталам строительства при нормативной продолжительности возведения сооружений и обьктов;

$НС_{к}$ — приведенный объем незавершенного строительства, определенный по рассматриваемому календарному плану;

$Э_{и}$ — нормативный коэффициент эффективности инвестиций в строительстве.

Экономическая оценка календарных планов строительства АЭС должна также включать учет новизны технологии возведения отдельных зданий и сооружений. Эффективность календарного плана можно оценить по известной формуле приведенных затрат при сопоставлении старой и новой технологии

$$Э_{тех} = \sum_{i=1}^{n} (C_i + E_h K_i) - \sum_{i=1}^{n} (C_{нi} + E_h K_{нi}), \qquad (3)$$

где C_i – текущие эксплуатационные издержки по i-й новой технологии;

$C_{нi}$ – то же, по традиционной технологии;

K_i – суммарные затраты на оборудование по i-й новой технологии;

$K_{нi}$ – то же, по традиционной технологии;

E_h – нормативный коэффициент эффективности по новой технике и технологии в строительстве.

Вместе с перечисленными аспектами воздействия календарных планов на эффективность строительства АЭС следует признать усиленное влияние сроков производства работ, принятых при их разработке. В этой связи при сокращении сроков строительства необходимо учитывать:

- уменьшение объема незавершенного строительства;
- снижение базисной сметной стоимости строительства;
- сокращение объема дополнительных затрат на содержание привлеченных организаций;
- доход от досрочного функционирования зданий, сооружений и объекта в целом.

Общая эффективность принятого календарного плана должна быть оценена как сумма всех возникающих сокращений затрат на строительства. Экономия при сокращении сроков строительства может исчисляться от предусмотренных по конкретным позициям затрат с помощью коэффициента

$$K_{ср} = 1 - \frac{T}{T_н}, \qquad (4)$$

где T – срок строительства по принятому календарному плану;

$T_н$ — нормативный срок строительства.

При наличии нескольких вариантов календарных планов к реализации принимается план, обладающий максимальной эффективностью по сокращению нормативных затрат.

Литература

1. Астахов И.А. Экономическая эффективность инвестиционного проекта. Автореферат дис. на соиск. учен. степ. к.э.н. Иваново, 2003 г.
2. Немцев В.Н. Основы экономического анализа инженерных решений, Магнитогорск, МГТУ, 2001 г.
3. Прыкин Б.В. Технико-экономический анализ производства. М., ЮНИТИ-Дана, 2003 г.

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