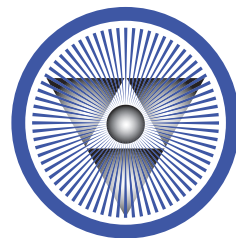


Ежемесячный журнал



# АТОМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Корпоративное издание саморегулируемых  
организаций атомной отрасли

№ 15

август-сентябрь 2013

СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ», СРО НП «СОЮЗАТОМПРОЕКТ», СРО НП «СОЮЗАТОМГЕО»



## ТЕМА НОМЕРА: Современные технологии сооружения объектов использования атомной энергии

### Строительство:

Экономическая модель всех стадий жизненного цикла проекта «ВВЭР-ТОИ» стр. 13

### Проектирование:

Multi-D – комплексная система управления сооружением сложных инженерных объектов стр. 33

### Изыскания:

Сейсмическое районирование района строительства Бушерской АЭС стр.38

# АТОМНОЕ строительство

Редакционный совет:

**Опекунов В.С. – председатель**

Денисов В.А.

Донцов В.К.

Карина В.И.

Малинин С.М.

Семенов О.Г.

Толмачев А.В.

Яковлев Р.О.

Корпоративное издание саморегулируемых организаций атомной отрасли (СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ», СРО НП «СОЮЗАТОМПРОЕКТ», СРО НП «СОЮЗАТОМГЕО»)

Контакты:

119017, Москва, улица Большая

Ордынка, дом 29, стр.1

Тел.: +7 (495) 646-73-20 (Доб. 397)

Факс: +7 (495) 953-73-43

E-mail: [pressa@atomsro.ru](mailto:pressa@atomsro.ru)

При перепечатке материалов ссылка на журнал «Атомное строительство» обязательна. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

Публикуемые в журнале материалы, суждения и выводы могут не совпадать с точкой зрения редакции и являются исключительно взглядами авторов.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации:

**Эл №ФС -77-47210.**

04

## Мирный атом - мирным городам



### Специальное интервью

#### Президент СРО «Союзатомстрой» Виктор ОПЕКУНОВ:

«Важнейшим приоритетом текущего момента является практическая реализация проекта по замыканию ядерного топливного цикла, открывающего доступ к необъятным энергетическим ресурсам. Одновременно эта технология решает еще одну важнейшую задачу – резкое сокращение радиоактивных отходов, как в процессе генерации энергии, так и за счет возможности вовлечения в топливный цикл накопленных ранее радиоактивных отходов различных видов».

Эксклюзивное интервью журналу  
СТРОИТЕЛЬСТВО.РУ



## Опыт

08

**Современные тенденции развития технологий сооружения АЭС** - Атомная энергетика на сегодняшний день находится на этапе устойчивого развития, активного использования и внедрения новых технологий, повышения качества строительства и безопасности эксплуатации АЭС. Эпоха ядерного ренессанса характеризуется сооружением объектов с высоким качеством, скоростью и снижением издержек. Одним из путей достижения этих целей является выявление слабых мест в Российских проектах сооружения АЭС и применение улучшенных технологий.



Монтаж блока купола ядерного реактора Нововоронежской АЭС.

## Строительство

18

**Отечественная СПЗО АЭС** Система преднапряжения защитной оболочки (СПЗО) АЭС относится ко 2-му классу безопасности и является последним четвертым барьером препятствующим распространению радионуклидов и ионизирующего излучения за пределы зоны локализации аварий при проектных и запроектных авариях. Основным силовым элементом железобетонной защитной оболочки являются армопучки из высокопрочных арматурных канатов, которые исключают возникновение растягивающих напряжений в бетоне при повышении давления внутри оболочки при аварии. Первые СПЗО на ВВЭР-1000 применяли армопучки состоящие из 450 параллельных проволок диаметром 5 мм. с усилием натяжения до 950 тон. По многолетнему опыту монтажа и эксплуатации пучков из параллельных проволок выявились ряд недостатков.

## Проектирование

33

**Multi-D - комплексная система управления сооружением сложных инженерных объектов** Рост энергопотребления и требований к обеспечению энергетической безопасности отдельных стран повышает интерес к атомной энергетике во всем мире. Выход на мировой рынок атомной энергетики является необходимым условием развития атомной отрасли России. Для того чтобы быть конкурентоспособным на мировом рынке, необходимы не только новые технологии и проекты энергоблоков, но и обеспечение возможности их поточного строительства за минимальные сроки и с минимальными издержками.

## ВВЭР-ТОИ

13

**Экономическая модель всех стадий жизненного цикла проекта ВВЭР-ТОИ** В условиях усиливающейся конкурентной борьбы на внешнем и внутреннем энергетических рынках Госкорпорация «Росатом» ставит перед проектно-конструкторскими и научно-исследовательскими организациями ядерно-энергетической отрасли приоритетную задачу по разработке типового, оптимизированного и информатизированного проекта АЭС (ВВЭР ТОИ) на основе современных 6D-технологий. параллельно с разработкой проекта создается единое информационное пространство, в рамках которого должны существовать и взаимодействовать различные программные комплексы (информационно-пространственная модель проекта, математическая модель проекта, экономическая модель проекта).

## Изыскания

38

**Сейсмическое районирование района Бушерской АЭС** Территория характеризуется довольно высоким уровнем сейсмической опасности. В статье рассмотрены результаты работ по оценке сейсмических воздействий типа детального сейсмического районирования (ДСР),



## Стратегия развития Российской Федерации подразумевает использование большого количества энергии. Какое место здесь занимает атомная энергетика и не изменилось ли к ней отношение после Чернобыля и Фукусимы?

Об этом мы беседуем с советником Генерального директора Государственной Корпорации «Росатом», президентом СРО «Союзатомстрой» Виктором ОПЕКУНОВЫМ

Материал журнала СТРОИТЕЛЬСТВО.РУ  
Беседовала главный редактор Лариса Поршева

- Виктор Семенович, у нас к атомной энергетике отношение осторожное особенно после Чернобыля. А последние 20 лет – это еще и очень большой застой в строительстве новых станций. Каково сейчас состояние атомной энергетике и тех станций, которые были построены в советское время?

Действительно, в атомной энергетике был период глубокой стагнации. Первый удар по отрасли нанесла Чернобыльская авария, были пересмотрены, и приостановлены в своем развитии многие проекты. Потом началась череда слияний и перегруппировок главков и министерств, отвечающих за атомную энергетiku, а далее, в ходе «перестройки», мы все попали под смену общественно-политической и социально-экономической системы страны, и для отрасли, как, кстати, и для всей экономики, начался крайне тяжелый и достаточно продолжительный период выживания.

Несколько лет отрасль занималась Чернобылем, и не успела встать на ноги после этого удара, как распался СССР, и, если кто-то говорит, что атомная отрасль пережила перестройку без потерь, с этим нельзя согласиться. Потери были существенные и, прежде всего, по способности отрасли строить новые сложные инженерные объекты.

Напомню, что в Министерстве среднего машиностроения было 4 главка, которые занимались строительством объектов использования атомной энергии за исключением АЭС, а также строительством всей социальной инфраструктуры целых городов, либо микрорайонов в которых жили работники «атомных» предприятий. Это 2 крупных строительных главка – территориально до Урала и за Уралом, главк монтажных работ, который объединял монтажников всех категорий, и главк специальных стройматериалов, который занимался специальной стройиндустрией для строек отрасли. Атомные станции, за исключением Ленинградской и Игналинской строило, и эксплуатировало Министерство энергетики, в котором также был свой мощнейший строительный комплекс, включающий и главк сооружения атомных электростанций. Необходимо отметить, что всегда атомные объекты проектировались, и строились специализированными организациями, имеющими специально подготовленный и аттестованный персонал, технологии, оснащение.

К сожалению, из перестроечных событий строительный сектор отрасли вышел практически с нулем, строительные главки Средмаша и Минэнерго были ликвидированы, ничего не осталось. Все строительные компании были приватизированы и ушли в свободное плавание в связи с не востребованностью на атомных стройках. Крупные управления строительством и тресты перестали существовать, строительно-монтажные управления выживали сами, как могли – кто-то стал строить жилье, другие объекты.

Кто-то просто ушел в небытие. Началом возрождения атомной отрасли можно назвать 2005 год, когда были приняты первые федеральные целевые программы развития.

**- Но подождите: Чернобыль у нас случился в 1985 году, первые ФЦП появились в 2005 – то есть, 20 лет безвременья? За это время может развалиться все, что угодно...**

Совершенно верно! И если после Чернобыля отрасль структурно не разрушалась, то рыночные перемены ударили именно по структуре. Если говорить об отрасли в целом, то она, конечно, пережила лихие годы значительно лучше других отраслей. Ни одной атомной станции за эти годы не было закрыто, ни одного предприятия не погублено, удержались институты, хотя финансирование было мизерным. И это в большой степени, по моему мнению, результат высокого уровня автономности атомной отрасли, ее самодостаточности. Не напрасно еще в советское время Средмаш называли государством в государстве. Но все же в эти годы отрасль утратила необходимые темпы развития науки и технологий, серьезные потери кадрового потенциала, особенно в среде ученых, инженеров, управленцев, практически полностью был утрачен специализированный строительный комплекс отрасли. И при этом система в целом удержалась, и с 2005 года пошел новый прилив, началось возрождение отрасли, новое масштабное строительство энергоблоков АЭС и других уникальных объектов использования атомной энергии. Это совпало с приходом в отрасль Сергея Владиленовича Кириенко, и его роль в возрождении отрасли бесспорна.

Именно тогда у руководства отрасли, а затем и у руководства государства наступило понимание, что если и дальше ничего не предпринимать, атомная отрасль страны неминуемо рухнет. Завершались проектные сроки работы многих энергоблоков АЭС и если их не модернизировать и не строить новые, то сжатие и без того не очень высокого удельного веса выработки энергии атомными станциями в общем объеме энергетики России приведет к тому, что экономика отрасли может просто не выдержать. Все затраты на добычу и обогащение урана, производство ядерного топлива, научное сопровождение, машиностроение, эксплуатацию станций, их модернизацию, реконструкцию и утилизацию и многое другое тяжелым бременем ложатся на стоимость киловатт-часа энергии.

К 2005 году отрасль подошла к критической точке не возврата, и именно тогда произошел серьезный

поворот в государственной политике по отношению к атомной сфере. В достаточно короткие сроки были приняты федеральные целевые программы: ФЦП «Развитие атомного энерго-промышленного комплекса», затем ФЦП «Ядерно-радиационная безопасность», и ряд других программ, связанных с развитием ядерного оружейного комплекса, а также развитием ядерно-энергетических технологий нового поколения. Таким образом, с 2005 года начались новые проекты, а с 2007 года начала интенсивно развиваться стройка. Первым объектом, на который были выделены бюджетные средства стал 4 блок Белооярской АЭС на базе реактора на быстрых нейтронах БН-800, а далее были приняты решение о завершении строительства - и сейчас оно уже завершено - 3 и 4 блоков Калининской АЭС, заложены Нововоронежская АЭС-2, Ленинградская АЭС-2, продолжено строительство 3 и 4 блоков Ростовской АЭС. В последующем было принято решение о строительстве Балтийской АЭС. Таким образом, шаг за шагом, начиная с 2007 года, пошел набор площадок, проектов и финансирование этих проектов.

**- Сколько сейчас в России действует АЭС?**

В России 10 атомных станций вырабатывают около 16,5 % общего объема электроэнергии, суммарная мощность энергоблоков около 24 ГВт. Для сравнения скажу: во Франции удельный вес атомной энергии - 80% - это максимальный показатель в мире. Также есть группа стран, которые имеют удельный вес атомной энергетики на уровне 30-36%: Германия, которая на уровне федерального закона приняла решение о поэтапном прекращении выработки атомной энергии на своих АЭС, имела около 30%, Япония - около 30%, США - около 20%, хотя у них наибольшее количество и суммарная мощность энергоблоков.

Сейчас многие новые страны начинают развивать атомную энергетику, принимать масштабные программы по строительству атомных энергоблоков. Сегодня очень активно развивает атомную энергетику Китай, планы более чем амбициозные, потребность в электроэнергии там колоссальная. Активно развивает атомную энергетику Индия, на юге, в местечке Куданкулам Российской компанией «Атомстройэкспорт» построено два энергоблока АЭС, и принято решение по строительству еще двух. Кроме того, в Индии свои очень сильные институты, связанные с ядерной энергией, они развивают свои собственные проекты. Есть межправительственные соглашения с Вьетнамом, с Турцией, с Белоруссией и другими странами о строительстве там АЭС. Буквально на днях Росатом выиграл крайне важный конкурс

на строительство АЭС в Финляндии. Так что развитие атомной энергетики идет очень активно.

**- Сколько же России нужно АЭС? И нужно ли развивать это направление? У нас - каскады огромных электростанций, газа хватит на сотни газовых станций. Зачем нам атом?**

Специалисты по энергобалансам считают, что оптимальная для России доля атомной энергетики - 25% от общего объема генерирующих мощностей. Нам, чтобы достигнуть этого показателя, нужно построить еще, как минимум, 16 энергоблоков - миллионников, а с учетом выводимых, отработавших свой ресурс, количество построенных блоков должно быть существенно больше. В ближайшие 5-10 лет необходимо вывести из эксплуатации как минимум 3 станции по 4 энергоблока - это Ленинградская АЭС-1, Курская и Смоленская АЭС - они отработают свой проектный ресурс, и они основаны на канальных реакторах типа РБМК. Никаких объективных данных, что эти реакторы менее надежны или более опасны, чем другие типы нет, но с целью строительства энергоблоков крупными сериями принята стратегия перехода на сооружение корпусных реакторов типа ВВЭР. В общем, с учетом создания замещающих мощностей и обеспечения роста удельного веса атомной генерации работы для строительного комплекса атомной отрасли более чем достаточно.

**- В России сейчас большинство станций сконцентрировано в европейской части. А где будут строиться новые АЭС?**

Атомные станции строятся там, где есть большое и стабильное энергопотребление, потому что АЭС рассчитаны на работу в режиме близком к номинальной мощности энергоблоков, энергия должна полностью забираться в сеть. Большую роль в выборе источника генерации энергии играет близость топливного либо возобновляемого ресурса. В Сибири, например большой объем генерации на ГЭС. Поскольку европейская часть России более насыщена потребителями, большинство АЭС сейчас находится именно в европейской части. Новые атомные станции так же будут находиться в основном в Европейской части России: это Нижегородская АЭС, Центральная АЭС, замещающие мощности в Сосновом Бору - Ленинградская АЭС, в Курчатове - Курская АЭС, в Десногорске - Смоленская АЭС, а также намечено строительство Северской АЭС под Томском.



В Северске будут построен опытно-промышленный энергоблок и комплекс ядерного топлива на основе реактора нового поколения, на быстрых нейтронах, с тяжелым металлическим теплоносителем, которые позволят перейти на замкнутый ядерный топливный цикл. Это по существу начало нового этапа и нового поколения атомной генерации, поскольку сегодня из добытого природного урана используется только изотоп уран-235, содержание которого в природном уране - 0,7%. Фактически используется около 0,5% от всего добытого урана. Не вдаваясь в суть происходящих в активной зоне атомного реактора процессов необходимо отметить, что учеными достигнута возможность практически полного использования всего природного урана в реакторах на быстрых нейтронах в совокупности со специальным производственным комплексом по регенерации облученного ядерного топлива.

Россия лидирует в развитии ядерных технологий на быстрых нейтронах с момента их научного открытия, хотя многие страны в настоящее время усиленно занимаются этой темой. Важнейшим приоритетом текущего момента является практическая реализация проекта по замыканию ядерного топливного цикла, открывающего доступ к необъятным энергетическим ресурсам. Одновременно эта технология решает еще одну важнейшую задачу - резкое сокращение радиоактивных отходов, как в процессе генерации энергии, так и за счет возможности вовлечения в топливный цикл накопленных ранее радиоактивных отходов различных видов. Ведь мы в землю должны вернуть радиации ровно столько, сколько оттуда извлекли, и не больше, чтобы не разбалансировать экологию.

**- Мы подошли к вопросу о том, кто в России должен строить новые станции? 20 лет отрасль выжила, строительные кадры разошлись, пропало обучение, база, материалы. Кто и из чего сейчас будет строить атомные станции?**

Конечно, вопрос о том, кто все это будет строить и осваивать, стоял с первого дня и стоит сейчас. Сегодня на 5 площадках сооружения АЭС работает около 25 тысяч человек, а всего в строительном секторе отрасли занято до 40 тысяч строителей. Концерн Росэнергоатом строит

9 энергоблоков на 5 площадках: Ленинградская АЭС-2, Ростовская АЭС, Балтийская АЭС, Нововоронежская АЭС-2, - по 2 блока и Белоярская АЭС - 1 блок. Учитывая, что это сложнейшие и капи-



талоёмкие объекты масштаб строительства бесспорно огромный! Существенно увеличиваются объемы строительства и на многих других предприятиях и объектах отрасли. В целом на стройках отрасли трудятся около 400 строительных компаний, 168 компаний, которые занимаются проектной деятельностью, и 70 компаний, которые занимаются изыскательской деятельностью - все они объединены в три СРО атомной отрасли: НП «Союзатомстрой», НП «Союзатомпроект» и НП «Союзатомгео» являющимися фактическими интеграторами строительного комплекса атомной отрасли в определенной степени, заместившими прежние организационные структуры. Сегодня всем становится очевидным, что решение о создании СРО атомной отрасли было единственно правильным, потому что именно здесь ведется сложнейшая работа по консолидации строительных, проектных и изыскательских компаний, выбравших тернистый путь атомных строителей; формируются ключевые системообразующие признаки и критерии современного строительного комплекса атомной

отрасли. Это установление самых высоких требований к организациям - членам СРО атомной отрасли, воссоздание и развитие системы отраслевых стандартов, создание системы внедрения новейших технологий проектирования и строительства сложных инженерных объектов, организация контрольной и надзорной деятельности, создание учебно-производственной базы и организация обучения персонала, включая квалифицированных рабочих по специальным программам, формирование методологии ценообразования в атомном строительстве и многое другое.

К сожалению действующая нормативно - правовая база дает возможность практически любой из более чем 400 СРО, на формальных основаниях зарегистрировать в Ростехнадзоре право выдачи свидетельств о допуске к работам на объектах использования атомной энергии, в том числе на проведение инженерных изысканий, разработку проектов и строительство. Мы ведем непрерывный мониторинг отраслевых строительных площадок на предмет состава и эффективности подрядных

альянсов, и отчетливо видим, как быстро нарастает отрыв в уровне компетенций компаний-членов СРО атомной отрасли и компаний-членов других СРО работающих на стройках отрасли. При этом является очевидным, что процесс глубокой консолидации и идентификации строительного комплекса атомной отрасли невозможно достичь рынком, это огромная, кропотливая и продолжительная работа всего сообщества атомных строителей. В целях защиты наших строек от недобросовестных подрядчиков мы продолжаем искать пути совершенствования правовой базы, в том числе возможно и через введение механизма аккредитации СРО в системе Госкорпорации «Росатом». Ведь СРО уже фактически являются органами оценки соответствия строительными компаниями требованиям установленным Правительством, и как любой орган оценки соответствия они должны быть аккредитованными Госкорпорацией «Росатом» в соответствии с ее полномочиями. Требования к СРО при аккредитации должны содержать по нашему мнению: соответствующий уровень требований к выдаче свидетельств о допуске к работам, распространяющийся на всех членов СРО, принятие членами СРО стандартов атомного строительства в качестве обязательных, наличие полноценного контрольного либо надзорного органа, наличие лицензии ФСБ, наличие в составе СРО не менее 50% компаний, имеющих опыт атомного строительства и некоторые другие требования.

**- Очевидно, что на стройках атомной энергетики подготовка кадров и требования к кадровому составу также должны быть очень высокие...**

С первого дня создания СРО атомной отрасли мы вынуждены были заниматься вопросами подготовки кадров. Актуальность этой проблемы очевидна и не требует длительного обоснования. На первом этапе отраслевые СРО являлись координаторами между организациями - членами СРО и институтами, но достаточно быстро стало ясно, что результата можно добиться только при условии, если СРО будет прямым заказчиком образовательных услуг. Начиная с 2011 г. была разработана и введена в действие уникальная программа повышения квалификации ИТР, предусматривающая формирование единого годового плана повышения квалификации всех организаций - членов СРО атомной отрасли в разрезе учебных программ, институтов и сроков проведения курсов. Далее отраслевые СРО заключают договоры с институтами и организуют контроль направления компаниями своих специалистов на курсы ИТР, а также организацию курсов в институтах, включая выездные проверки. При этом СРО атомной отрасли опла-

чивают 100% обучения персонала наших компаний из своего бюджета. Мы уже третий год работаем по этой программе и в прошлом году достигли максимального результата - обучили 3535 человек, причем, особое внимание уделяется контролю качества обучения. 100% учебных программ, которые нам предложили институты, были пересмотрены и переработаны с учетом специфики атомного строительства. Значительный эффект централизованного обучения в рамках СРО атомной отрасли еще и в том, что на курсы повышения квалификации собираются руководители и инженеры с разных атомных строек, и они не только обучаются, но и обмениваются информацией, знаниями, опытом. В качестве преподавателей мы приглашаем ведущих ученых и инженеров из наших компаний, потому что, к сожалению, далеко не все вузовские преподаватели подготовлены для повышения квалификации приезжающих со строек специалистов. Они могут читать классические лекции студентам, но если мы со стройки вырвали людей на 10 дней, им нужно дать именно специальные знания, новые технологии, материалы, причем дать не просто новое, а новое в атомном строительстве. Знаете, почему мы пошли на самофинансирование обучения? В первый год нашей работы в 2010 году мы заключили соглашения с вузами о сотрудничестве, наши компании направили на учебу людей, но поскольку СРО атомной отрасли не являлись прямыми заказчиками, мы не могли контролировать учебный процесс, а сами компании направляющие несколько по человек просто не имели возможности влиять на результаты.

Стало ясно, что если мы сами как СРО не будем заказывать эти услуги, не будем совместно с вузами формировать программы, технологию обучения, наглядные материалы, мы никогда не получим хорошее обучение. Исходя из этого, разработали и утвердили на общем собрании СРО «Образовательный проект», определили на него затраты, и с тех пор третий год работаем по этому проекту.

В 2011 году мы приступили к реализации нового совместного с Госкорпорацией «Росатом» проекта – организации учебных центров подготовки рабочих. Прежде всего учредили негосударственное образовательное учреждение подготовки рабочих строительного комплекса атомной отрасли НОУ УЦПР. В 2012-2013гг. ввели в эксплуатацию два учебных центра - в Нововоронеже и в Москве. В них создана современная учебная база, с хорошим оборудованием, компьютерными классами, где можно готовить рабочих высокого уровня квалификации. К сожалению, мы сегодня с трудом заполняем аудитории этих центров, потому что период «безвременья» отучил всех нас от

даже базовых принципов организации деятельности предприятий, руководители компаний с трудом начинают понимать, что квалификация специалистов это главная ценность и залог успеха их бизнеса. Нам приходится включать все наши рычаги влияния – проверка, предписание, предупреждение, приостановка и прекращение действия допуска вплоть до исключения, если компания не намерена соответствовать тем кадровым стандартам, которые нужны в атомном строительстве.

Кстати, мы получили на наш учебный центр лицензию на подготовку ИТР по программам дополнительного профессионального образования и на базе НОУ УЦПР приступили к обучению линейного персонала: мастеров, прорабов, начальников участков. Разрабатываем специальные программы для этой категории специалистов – это основы экономических знаний, основы знаний трудового законодательства, безопасности и охраны труда и конечно работа с проектной документацией и соответствующие строительные технологии.

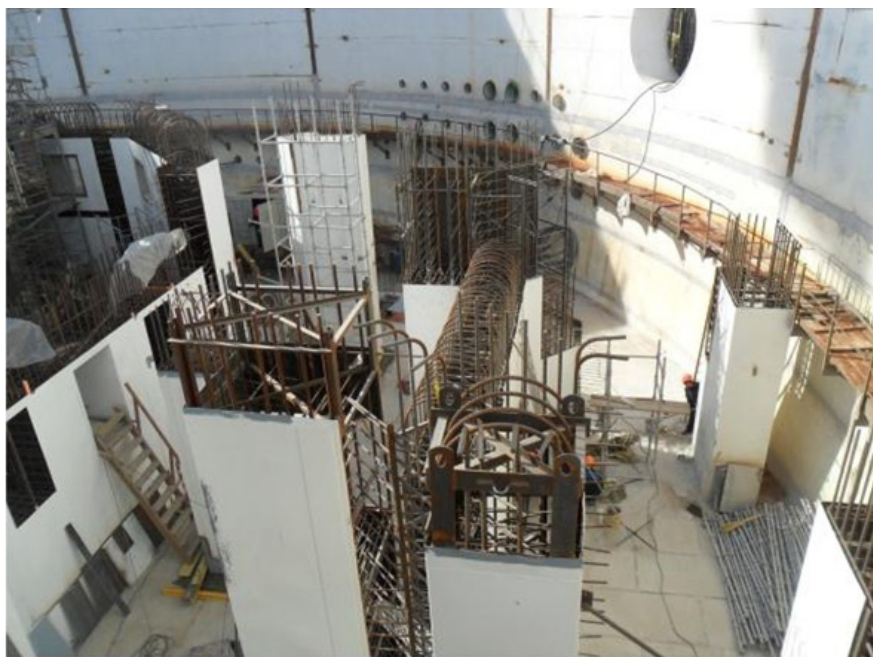
**- Последний вопрос. С детства помню картину: стоит атомная станция, а рядом мама с дочкой собирают цветы и земляничку. То есть, символ того, что атомная энергетика совершенно безопасная и чистая. Это, действительно, так?**

Объекты атомной энергетики, конечно, относятся к особо - опасным и технически сложным объектам. Активная зона реактора с момента начала самопроизвольной цепной реакции ядерного топлива - это опасная зона. Однако уровень безопасности атомного реактора или любой другой атомной установки определяется системами безопасности, которыми они оснащены. Безусловно, за многие годы развития атомной энергетики созданы уникальные пассивные и активные системы безопасности ядерных реакторов, и сегодня, энергоблоки, которые мы строим, и эксплуатируем, имеют очень высокий и соответствующий мировым требованиям уровень безопасности. Кстати говоря, в атомной энергетике и промышленности уровень требований к безопасности всегда был, и есть значительно более высокий, чем в других отраслях. Если там действует принцип минимальной достаточности, то в атомной отрасли – максимальной достижимости. И эта, если хотите, философия безопасности, выстраданная и воспитанная за многие годы работы лучшими учеными и инженерами атомной отрасли, продолжает быть основой и в наши дни.



# Современные тенденции развития технологии сооружения АЭС в России и за рубежом

**Автор:** Малинин Сергей Михайлович  
**Технический директор СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ»**



*НВАЭС. Монтаж армоопалубочных блоков гермозоны*

Атомная энергетика на сегодняшний день находится на этапе устойчивого развития, активного использования и внедрения новых технологий, повышения качества строительства и безопасности эксплуатации АЭС. Эпоха ядерного ренессанса характеризуется сооружением объектов с высоким качеством, скоростью и снижением издержек.

Основными целями развития и внедрения новых технологий на рынке сооружения атомных станций в России и за рубежом сегодня являются:

- повышение безопасности эксплуатации АЭС,
- сокращение сроков строительства,
- снижение стоимости строительства,
- улучшение качества строительства, возведение простой и надежной конструкции, устойчивой к возможным авариям,
- соответствие международным требованиям,
- защита против аварии с расплавлением активной зоны,
- продление сроков службы до 60 лет,
- минимизация воздействия на окружающую среду.

Одним из путей достижения этих целей является выявление слабых мест в Российских проектах сооружения АЭС и применение улучшенных технологий для решения этих проблем. Сегодня необходимо внедрить передовые технологии и найти разумный баланс между сроками сооружения, качеством, безопасностью и стоимостью сооружения. Именно поэтому в приоритетах развития системы технического регулирования на объектах использования атомной энергии - внедрение инновационных технологий не на стадии проектирования, а еще раньше - на этапе разработки и выпуска стандартов, требований к проектированию и сооружению АЭС. Сегодня существенно поменялась технологическая база. Появилась новая крановая техника, усовершенствовались технологии монтажа арматуры и другие монтажные технологии, применяются новейшие материалы и т.д. Это общий технический прогресс, который происходит в мировой строительной индустрии. В последние несколько лет Россия со-

вершила большой прорыв по разработке собственных новых технологий и внедрению зарубежных. Современные тенденции развития технологии сооружения АЭС в России и за рубежом включают следующие передовые технологические концепции:

1. Крупноблочное строительство, в том числе:

- Использование крупноблочных армированных строительных конструкций;
- Применение несъемной стальной и фибробетонной опалубки;
- Применение технологии безвибрационного бетонирования густоармированных конструкций сложной геометрии с применением гиперпластификаторов;
- Использование гибридных блоков строительных конструкций, оборудования и трубопроводов.

2. Система управления проектом сооружения АЭС, в том числе:

- Использование информационной системы управления проектом (Инжиниринг в управлении проектами на основе перехода от 2D моделей к мульти-D моделям. Управление выпуском ПСД и поставками оборудования, изделий, материалов. Мониторинг сооружения объектов (4-D));
- Организация поточного строительства;

• Информационные технологии в организации строительства (Использование GPS навигации и ГЛОНАСС).

3. Применение инновационных материалов, в том числе:

- высокопрочный бетон,
- композитные материалы.

4. Передовые технологии монтажных работ, в том числе:

- Монтаж тяжеловесного и крупногабаритного оборудования открытым способом;
- Автоматизация процесса сварки трубопроводов;
- Использование гнутых трубопроводов вместо сваренных коленчатых патрубков;
- Комплектно-блочное изготовление оборудования и трубопроводов.

5. Разработка системы стандартов, обеспечивающих сооружение АЭС, разработка технологических регламентов.



6. Повышение квалификации персонала в соответствии с развитием инновационных технологий строительства, монтажа, сварки и др.

Для достижения нового уровня в атомном строительстве сделан акцент на техническое регулирование, технический контроль и строгий надзор за соблюдением качества сооружения объектов, строгое соблюдение стандартов, регламентирующих качество строительства, внедрение инноваций на этапе разработки стандартов. Перечисленные задачи реализуются саморегулируемыми организациями атомной отрасли. Сегодня СРО объединяют около 500 организаций, выполняющих работы при сооружении объектов использования атомной энергии. Деятельность СРО направлена на повышение всех компонентов ответственности, качества работ и безопасности сооружения АЭС. В частности, техническое регулирование, организованное специалистами отраслевых СРО, призвано качественно повысить уровень безопасности сооружения АЭС. Созданы Комитеты по техническому регулированию, по инновационному развитию, по качеству и метрологии, создан Центр технических компетенций атомной отрасли (ЦТКАО), который является разработчиком стандартов СРО. Экспертный совет ЦТКАО объединяет лучших специалистов в области строительства, проектирования и инженерных изысканий с тем, чтобы каждый разрабатываемый стандарт был всесторонне оценен профессиональным сообществом. Ведется Разработка новой и актуализация действующей нормативно-технической документации, регламентирующей сооружение ОИАЭ.

Смысл и основные задачи разработки нормативно-технической документации – закрепление в них требований к безопасности и качеству СМР, упорядочение строительной деятельности, достижение оптимальной экономии при соблюдении условий эксплуатации, упорядочение строительной деятельности.

Комплекс стандартов на сооружение объектов ОИАЭ включает стандарты по управлению и организации сооружения ОИАЭ и стандарты по технологии сооружения ОИАЭ. В стандартах СРО атомной отрасли по управлению и организации сооружения ОИАЭ раскрывается передовая концепция управления проектами. Дальнейшей эволюцией системы управления проектом является система управления жизненным циклом АЭС. Данная концепция включает создание единого информационного пространства проектирования – мультиплатформенного программно-аппаратного комплекса управления инженерными данными для конструирования и проектирования (MultiD-инжиниринг), 3D-модели и материалы которого используются также в процессе

эксплуатации, во время ремонтов, реконструкций и вывода из эксплуатации, а также организации коммуникаций между территориально распределенными участниками проекта (в т.ч. заказчиком, генподрядчиком, проектировщиками, производителями оборудования и строителями).

MultiD технология - это создание виртуальных моделей всего энергоблока в процессе проектирования, позволяющих планировать и контролировать ход сооружения АЭС в реальном масштабе в любой выбранный момент времени с эффектом присутствия, создающих стереоскопическое изображение оборудования и иллюзию перемещения по станции с возможностью масштабирования. Программное обеспечение MultiD объединяет 3D-проектирование, календарно-сетевые графики, каталоги оборудования, сметную стоимость строительства, работы машин и механизмов и др. Лучшие практики строительной индустрии Японии и США показали эффективность внедрения и огромные перспективы данной технологии. Стандарты по технологии сооружения ОИАЭ охватывают все этапы строительства и определяют требования к основным процессам, влияющим на качество сооружения и безопасность АЭС, таким как: проведению бетонных работ при сооружении реакторного отделения и защитной оболочки, проведению сварочных и монтажных работ ГЦК АЭС, трубопроводов и оборудования турбинного отделения, выполнению электромонтажных, тепломонтажных, пуско-наладочных работ и другим. Постоянное обновление стандартов позволит поддерживать качество и

безопасность строительства в течение долгих лет.

Стандарты по технологии сооружения ОИАЭ затрагивают следующие инновационные технологии:

- Технология устройства несъемной опалубки на ОИАЭ,
- Устройство системы предварительного напряжения защитной оболочки реакторного блока АЭС,
- Проектирование и изготовление фибробетонной опалубки для ОИАЭ,
- Технология автоматизированной сварки,
- Технология применения системы мониторинга строительных конструкций,
- Технология применения композитных полимерных материалов.

Крупноблочное строительство, совмещенный монтаж ("OpenTop") - одно из основных направлений развития, рассматриваемых и продвигаемых в Комитете по Инновационному развитию СРО Атомной отрасли. Данная технология принципиальным образом влияет на сроки и затраты при строительстве АЭС.

Результативность технологии блочно-го монтажа зданий с использованием укрупненных фрагментов для скоростного строительства обусловлена переносом большей части сложных и трудоемких работ по армированию стен и перекрытий, установке закладных деталей и проходок в стационарные заводские условия. Дополнительными преимуществами такого решения является повышение качества и производительности работ, выполнение которых осуществляется в комфортных условиях с использованием специальных стендов и кондукторов, производительного стационарного оборудования. Ряд конструкций, которые в условиях строительной площадки могут выполняться только в определенной



НВАЭС. Монтаж блока купола.

последовательности, при изготовлении в составе блоков могут выполняться одновременно на отдельных стендах без взаимных помех. Суть технологии совмещенного монтажа заключается в параллельном выполнении работ по сооружению строительных конструкций и ведению монтажных работ по установке основного технологического оборудования (корпуса реактора, парогенераторов, «улиток» ГЦН и других технологических модулей). В настоящее время в зарубежной практике этот метод широко применяется под названием «OpenTop» (открытый верх). Применение этой технологии значительно сокращает сроки строительства АЭС.

В качестве примера сооружения энергоблоков АЭС с применением технологий крупноблочного и поточного строительства, можно привести Запорожскую АЭС, возводимую еще в Советские годы (1977-1988 годы). Лучшие показатели темпов строительства АЭС в СССР были достигнуты на сооружении 4-ого энергоблока ЗАЭС, где продолжительность строительных работ на реакторном здании составила 36 месяцев при общей продолжительности работ от первого бетона до энергопуска - 46 месяцев. Сооружение реакторного здания Запорожской АЭС осуществлялось предварительно укрупненными блоками весом от 40 до 200 т, для изготовления и укрупнения которых была создана мощная строительная база.

Одним из ключевых направлений на рынке атомной энергетики сегодня является проект ВВЭР-ТОИ. СПО атомной отрасли совместно с концерном «Росэнергоатом» для обеспечения совершенствования технологии возведения энергоблоков АЭС с реактором ВВЭР-ТОИ формирует программу разработки си-

стемы технологических регламентов с использованием современных строительных технологий, обеспечивающих надлежащее качество, плановые показатели по срокам и стоимости строительства АЭС, на основные здания и сооружения и отдельные конструктивные элементы, этапы работ, инженерные системы АЭС.

Основные принципы технологического регламентирования проекта ВВЭР-ТОИ включают:

- обеспечение нормативных сроков строительства объекта;
- применение современных технологий, материалов, конструкций, процессов организации и управления строительным производством;
- перенос большей части трудозатрат при строительстве АЭС из построчных условий в заводские;
- поставка на стройплощадку оборудования, строительных конструкций и изделий, полной или высокой заводской готовности, изготовленных с высокой точностью;
- совмещенный монтаж основного оборудования и блоков-модулей;
- использование автоматической и роботизированной сварки;
- применение самоуплотняющихся бетонов, которые практически исключают трудозатраты на вибрирование свежееположенного бетона;
- применения несъемной опалубки (фибробетонной и стальной)
- устройство стыков арматурных стержней армоблоков с помощью петлевого стыка и резьбовых муфт;
- использование тяжелой крановой техники для установки основного крупногабаритного тяжеловесного оборудования и строительных блоков при проведении совмещенного монтажа;

- разработка технологических регламентов параллельно с выпуском рабочей документации;

- наличие высококвалифицированных управленческих, инженерных и рабочих кадров;

- техническое нормирование работ в составе технологических регламентов.

Перед компаниями, занимающимися сооружением АЭС, стоит задача – обеспечить полное соответствие современных АЭС международным требованиям к безопасности атомных реакторов. Сегодня требования таковы: вероятность аварий с разрушением активной зоны на новых станциях не должна быть более 1 раза в 100 000 лет на 1 реактор (10-5), а вероятность крупных аварий с выбросами радиоактивности за пределы АЭС не должна превышать 1 раза в 1 000 000 лет на реактор (10-6). Внедрение инновационных технологий, техническое регулирование и строгий контроль соответствия требованиям обеспечат долгосрочную конкурентоспособность России на международном рынке сооружения АЭС.

Ренессанс атомной отрасли невозможен без полномасштабной модернизации строительного процесса на всех стадиях, включая стандартизацию, эволюционного развития российских строительно-монтажных технологий, созданных в 80-е годы прошлого века и развитых в соответствии с новыми более жесткими требованиями сегодняшнего дня, постоянной качественной актуализации нормативно-технической документации с внедрением современных технологий сооружения, появлением новых инноваций и стимулированием развития НИОКРов.



Панорама строительства Нововоронежской АЭС-2 (НВАЭС-2). Сооружение ведется по проекту «АЭС-2006», в котором применена реакторная установка ВВЭР-1200.



## В практике технологии строительства АЭС за рубежом превалируют два подхода

Своим взглядом на зарубежный опыт сооружения АЭС поделился Анатолий Лапин, заместитель начальника отдела организации и технологии строительства ЗАО «Институт «Оргэнергострой»

Первый подход: возведение стен и перекрытий с армированием их отдельными стержнями и последующим заполнением армокаркасов монолитным бетоном с использованием съемной опалубки. Схема механизации работ предусматривает использование для этой цели легких башенных кранов. Монтаж укрупненными блоками применяется только для элементов металлической облицовки защитной оболочки. Для обеспечения этих подъемов на ограниченный период привлекаются большегрузные краны.

Второй: возведение элементов здания из плоских и объемных монтажных модулей, предварительно собираемых на площадке укрупнительной сборки. В состав модулей помимо строительных конструкций включены элементы оборудования. Для монтажа модулей на весь период строительства устанавливаются большегрузные краны. Успешность первого варианта во многом зависит от численности рабочих, занятых на строительных работах и наличия резервов в рабочих кадрах для ведения работ при отставании от намеченного графика. Этот вариант может успешно использоваться в странах с большой численностью населения, образовательный уровень которого допускает использование его в качестве неквалифицированной и низкооплачиваемой рабочей силы (Китай, Индия).

Опыт реализации французского проекта в Финляндии свидетельствует, что ограниченная численность рабочих кадров и проблемы с качеством выполняемых работ приводят к срывам в сроках строительства. Так при строительстве блока Олкилуото-3, сооружаемого с применением технологии армирования одиночными стержнями и съемной опалубки, ожидаемое отставание по срокам его ввода в эксплуатацию составит 3 года. Ряд зарубежных источников утверждают, что в итоге бюджет строительства Олкилуото-3 превысит на 70-100% сумму, указанную в контракте.

Успешность второго варианта должна

обеспечиваться всеми этапами строительного цикла, начиная от стадии проектирования. Важная роль должна отводиться координации работ по поставкам комплектующих, возведению строительных конструкций и монтажу оборудования (как на стадии укрупнения, так и в период монтажа модулей в проектное положение).

Особое внимание должно уделяться качеству работ, точности сборки и монтажа модулей и технологичности выполнения стыковочных узлов. Грузоподъемные возможности монтажных кранов должны соответствовать весовым характеристикам собираемых модулей.

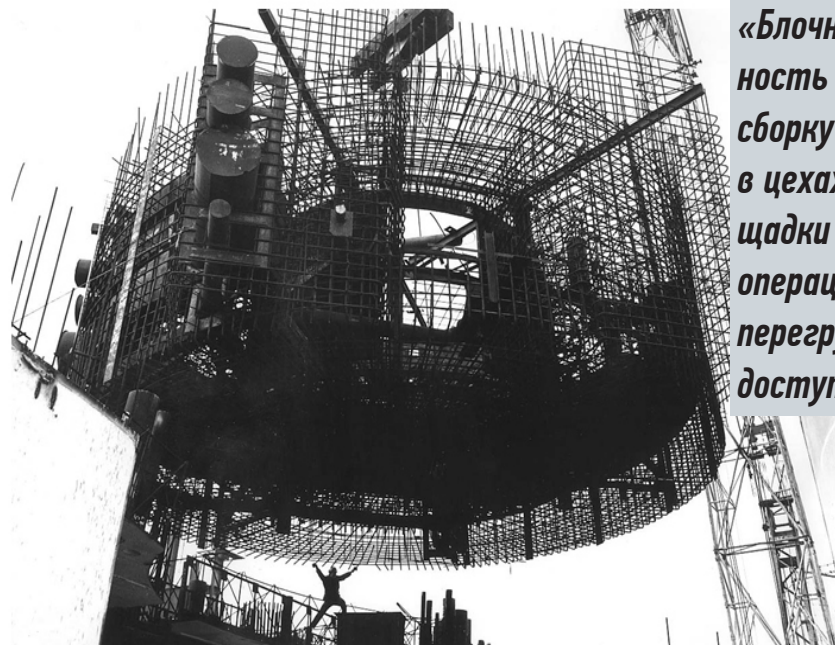
Опыт строительства АЭС в Китае, Индии, Финляндии свидетельствует о том, что выбор поставщиков оборудования требует очень тщательного подхода. Задержки в поставках и дефекты оборудования способны свести на нет любые эффекты от индустриализации строительных решений.

Реализация второго варианта может быть успешной в условиях промышленно развитой инфраструктуры и хороших транспортных схем поставки материалов и оборудования, а также при наличии квалифицированных рабочих кадров их

комплектности в подрядных организациях, ведущих работы на объекте. Изучение зарубежного и отечественного опыта строительства АЭС свидетельствует о том, что без использования индустриальных методов строительства сроки ввода современных энергоблоков в эксплуатацию, составляют 6 – 8 лет. Причем 6-летний период строительства достигается, только в случае привлечения большой численности рабочего персонала (до 12 – 15 тыс. рабочих). Технология крупноблочного монтажа заключается в производстве строительного-монтажных работ с использованием заранее изготовленных модулей строительных конструкций и оборудования. Блочное строительство дает возможность проводить механизированную сборку оборудования и электромонтаж в цехах за пределами строительной площадки параллельно со строительными операциями, снижая, таким образом, перегруженность площадки и улучшая доступность зоны работ для персонала. Все эти факторы позволяют существенно сократить продолжительность строительства АЭС.



Укрупнительная сборка блока конструкций гермозоны на строящейся по проекту AP 1000 АЭС в Китае



Запорожская АЭС. Монтаж объемного блока шахты реактора

В качестве примера сооружения энергоблоков АЭС с применением плоских и объемных монтажных модулей, предварительно собираемых на площадке укрупнительной сборки можно привести блоки Запорожской и Балаковской АЭС. В настоящее время ведется строительство Нововоронежской АЭС-2 и Ленинградской АЭС-2. В процессе строительства НВАЭС-2 стало понятно, что использование армирования отдельными стержнями и стандартной съемной опалубки значительно замедляют темпы производства работ. Начиная с отм. + 0.00м ОАО «Атомэнергопроект» совместно с ЗАО «Институт «Оргэнергострой» приступили к разработке рабочих чертежей арматурных и армоопалубочных блоков с несъемной стальной опалубкой (для стен ЗЛА и конструкций внутренней защитной оболочки). Проектная документация АЭС с ВВЭР-ТОИ разработана в развитие проекта НВАЭС-2 с использованием наиболее перспективных методов сооружения строительных объектов на основе передового зарубежного и отечественного опыта в области использования современных технологий, прошедших апробацию и использующихся в мире на строительстве объектов энергетики. Принятые подходы к технологии и конструктивным решениям строительных конструкций позволяют перенести большую часть трудозатрат при строительстве АЭС в заводские условия, повысить темпы строительства. Для реализации решений, принятых в про-

екте АЭС ВВЭР-ТОИ и обеспечения строительства АЭС ВВЭР-ТОИ с применением крупногабаритных армоопалубочных блоков строительных конструкций повышенной заводской готовности, применения современных технологий необходимо выполнить некоторые работы.

Для возможности практического применения фибробетонной несъемной опалубки при реализации проекта ВВЭР-ТОИ необходимо разработать проект, изготовить технологическую линию по производству фибробетонной тонкостенной опалубки, а также отработать технологию изготовления и выпуск опытных образцов фибробетонной тонкостенной опалубки.

В проекте АЭС ВВЭР-ТОИ предусмотрено устройство стыков арматурных стержней армоблоков с помощью петлевого стыка и резьбовых муфт. Основными преимуществами таких стыков являются небольшие временные затраты на выполнение операции стыковки арматурных стержней, отсутствие потребности в сварочных работах, высококвалифицированных рабочих. Однако для возможности выполнения стыков на резьбовых муфтах необходима высокая точность изготовления и монтажа арматурных (армоопалубочных) блоков, а также установки выпусков арматуры из перекрытия в плане и по высоте. Сооружение АЭС ВВЭР-ТОИ в заданные проектом сроки невозможно без применения крупных, сложных

**«Блочное строительство дает возможность проводить механизированную сборку оборудования и электромонтаж в цехах за пределами строительной площадки параллельно со строительными операциями, снижая, таким образом, перегруженность площадки и улучшая доступность зоны работ для персонала»**

армоопалубочных блоков (армокаркасов). Своевременная разработка конструктивных решений и отработка технологии их изготовления, монтажа и стыковки, являются решающим фактором, определяющим сроки строительства АЭС.

Для установки основного крупногабаритного тяжеловесного оборудования реакторной установки строительными кранами на стадии совмещенных строительно-монтажных работ необходимо разработать нормативный документ, подробно регламентирующий перечень работ и условия, которые необходимо соблюдать при выполнении тех или иных видов работ по монтажу основного оборудования.

На сегодняшний день часть технических решений строительных конструкций, принятые в проекте ВВЭР-ТОИ, отработаны на строительстве НВАЭС-2. Применение арматурных и армоопалубочных блоков, несомненно, сократило продолжительность выполнения СМР. Однако принятые в проекте конструктивные решения блоков строительных конструкций в связи со значительной сложностью выполнения работ при их изготовлении и стыковке, вероятно, не позволят обеспечить длительность основного периода строительства реакторного здания в 40 месяцев.

Необходимы другие подходы к конструктивным решениям блоков строительных конструкций, которые бы позволили упростить сборку, монтаж, стыковку и бетонирование монтируемых фрагментов и применить крупногабаритные объемные жесткие блоки. Такого типа конструкции применялись при строительстве отечественных унифицированных блоков ВВЭР-1000 и применяются в настоящее время за рубежом (в корейских и американских проектах).



# Экономическая модель всех стадий жизненного цикла инвестиционного проекта «ВВЭР-ТОИ»

Авторы: Бунак И.В., Плотников А.С.

Проектно-конструкторский филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом»

Проектно-конструкторский филиал ОАО «ВНИИАЭС»

В условиях усиливающейся конкурентной борьбы на внешнем и внутреннем энергетических рынках Госкорпорация «Росатом» ставит перед проектно-конструкторскими и научно-исследовательскими организациями ядерно-энергетической отрасли приоритетную задачу по разработке типового, оптимизированного и информатизированного проекта АЭС (ВВЭР ТОИ) на основе современных 6D-технологий. Параллельно с разработкой проекта создается единое информационное пространство, в рамках которого должны существовать и взаимодействовать различные программные комплексы (информационно-пространственная модель проекта, математическая модель проекта, стоимостная база данных материальных и трудовых ресурсов, единый отраслевой номенклатурный каталог оборудования и материалов, информационно-аналитические системы управления различными предметными областями и т.д.). Особое место и роль в ряду указанных программных продуктов отводится экономической

модели всех стадий жизненного цикла энергоблока АЭС серии ВВЭР ТОИ. Это вызвано тем, что оптимизация всех проектных решений базового проекта (Нововоронежской АЭС-2) должна осуществляться, главным образом, в направлении улучшения экономических показателей энергоблоков (при сохранении требуемого уровня безопасности), которые в настоящее время признаны основными критериями конкурентоспособности АЭС. Разработанная в виде клиент-серверного приложения с Web-интерфейсом экономическая модель представляет собой интегрированную систему расчетов показателей экономической эффективности, увязанных между собой определенными алгоритмами.

Модель позволяет решать следующие основные задачи:

- формировать стоимость сооружения энергоблока (капитальные затраты), эксплуатационные издержки, а также расходы на вывод из эксплуатации, с привязкой к конкретному региону размещения АЭС и прово-

дить оценку экономической эффективности проектов АЭС с учетом всех стадий жизненного цикла;

- проводить покомпонентное сравнение с конкурирующими объектами и определять перспективные области улучшения конфигурации объекта;

- выбирать оптимальные проектные решения с точки зрения их наибольшего вклада в экономическую эффективность, а также проводить экспертизу готовой проектной продукции на предмет соответствия заданным экономическим параметрам. Конфигурация модели была сформирована с учетом потребностей широкого круга потенциальных пользователей (ГК «Росатом», ОАО «Концерн Росэнергоатом», ЗАО «АСЭ» и др.) и включает в себя три глобальных модуля: модуль входных параметров, расчетно-аналитический модуль и модуль выходных параметров, которые, в свою очередь, состоят из различных блоков (Рис. 1)

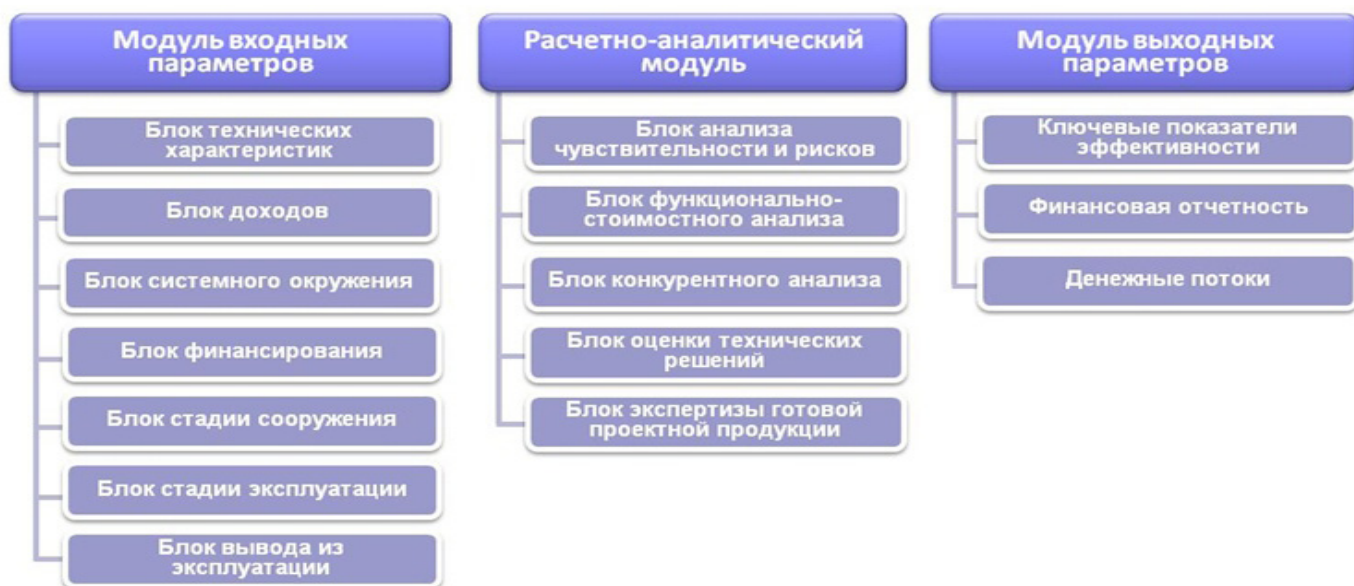


Рис. 1 Структура экономической модели

Между блоками существуют расчетно-логические взаимосвязи. Показатели, которые являются выходными показателями для одного блока, для другого блока могут являться входными данными для последующих расчетов. Таким образом, каждый блок расчетов можно охарактеризовать следующим набором данных:

В качестве входных данных в экономической модели можно выделить следующие типы:

- параметры модели, которые доступны для изменения пользователем непосредственно в интерфейсе модели;
- библиотека ресурсной модели;
- база данных стоимости материальных и трудовых ресурсов (БДС МТР), включая базу данных цен на оборудование;
- графики сооружения.

Данные последних 3 типов поступают через ресурсную модель. Ресурсная модель представляет собой произведение необходимого количества ресурсов из библиотеки ресурсной модели на соответствующие цены из БДС МТР. С помощью временных графиков сооружения вычисляется распределение во времени необходимых для сооружения объекта денежных средств.

Параметры модели, которые доступны для изменения пользователем, можно разделить на 4 группы:

- параметры, которые отвечают за временное распределение (время начала проекта, сроки ремонтов, сроки поставки топлива и т.д.);
- параметры, которые являются техническими характеристиками (тепловая мощность, КПД, потребление электрической мощности на собственные нужды и т.д.);
- параметры, которые отвечают за основные экономические развилки (тип поставки топлива, тип рынка электроэнергии, тип вывода из эксплуатации, доля финансирования из собственных средств и т.д.);
- параметры системного окружения (процентные ставки, инфляция, цены на топливо, цены на электроэнергию и т.д.).

Выходные показатели можно разделить на три группы:

- показатели из финансовой отчетности;
- ключевые интегральные показате-

ли экономической эффективности (ЧДД, ВНД и т.д.);

- денежные потоки.

Одним из центральных блоков экономической модели является расчетно-аналитический блок функционально-стоимостного анализа (на методологической базе которого построена также работа блоков конкурентного анализа и оценки технических решений). Цель функционально-стоимостного анализа состоит в том, чтобы сделать более прозрачной и понятной стоимость производства электроэнергии на АЭС. Функционально-стоимостной анализ декомпозирует сложный производственно-технологический процесс на некоторую иерархическую последовательность технологических функций. При этом для каждой функции определяется стоимость ее реализации, то есть стоимость сооружения и функционирования соответствующей технологической системы, реализующей данную функцию. Тем самым процесс создания стоимости конечного продукта – электроэнергии раскладывается на ряд существенных элементов, который позволяет точнее понять структуру этого процесса и, в дальнейшем, принимать более обоснованные решения по его оптимизации. Для проведения функционально-стоимостного анализа в экономической модели были выделены 12 базовых технологических функций. Функции разбиты на 4 типа: основные производственные функции, функции безопасности, обеспечивающие функции и функции управления. В свою очередь, всем функциям были сопоставлены соответствующие технологические системы, в которых они осуществляются.

В блоке функционально-стоимостного анализа проводится оценка экономической эффективности проектных решений с помощью сравнения с базовым проектом НВАЭС-2, т.е анализ «что-если». При сравнении нескольких проектов, предварительно определяется список параметров, по которым сравниваются и отбираются эффективные проекты. Для каждого параметра определяется его вес, на основании значений параметров и их весов,

формируется интегральный показатель эффективности, по которому ранжируются проекты. При этом экономическая модель позволяет на этапе сооружения проводить функционально-стоимостной анализ с определением расхода ресурсов на каждый объект или группу объектов конфигурации АЭС в физических объемах и стоимостном выражении. На этапе эксплуатации модель позволяет выполнять функционально-стоимостной анализ, то есть оценивать вклад функций каждого объекта или группы объектов в формирование эксплуатационных затрат. Функционально-стоимостной анализ позволяет проводить сравнение проекта ВВЭР ТОИ не только с конкурентными проектами, но и анализировать альтернативные проектные решения путем сравнения с базовым вариантом и является основой для методологии экспертизы готовой проектной продукции на предмет соответствия заданным экономическим параметрам и оценки эффективности проектных решений. В основе экономической модели лежит концепция определения общего расхода ресурсов, необходимых для сооружения, эксплуатации и вывода из эксплуатации АЭС. В процессе сооружения АЭС используются тысячи наименований различных ресурсов, значимость которых в итоговой стоимости АЭС различна. На ранних стадиях разработки проекта АЭС может быть не доступен (не определен) полная номенклатура всех задействованных ресурсов. Полный перечень так же может быть не доступен по ряду других причин. В связи с этим экономическая модель позволяет оперировать не полным перечнем всех ресурсов, а агрегированными ресурсами (т.е группой ресурсов, имеющих близкие характеристики и функциональное назначение, а так же измеряемые в одних единицах). Помимо концепции оценки количества агрегированных ресурсов, в основе экономической модели так же лежит концепция разделения АЭС на здания и функциональные системы и несколько ключевых зданий. При этом ресурсные характеристики задаются для каждой отдельной функциональной системы. Экономическая модель обеспечивает постоянную актуализацию цен агрегированных ресурсов в соответствии с



БДС МТР, которая содержит и актуализирует текущие цены на марки материалов и виды оборудования. БДС МТР создана на базе «1С: Предприятие 8» как электронное хранилище данных, позволяющее систематизировано проводить мониторинг и поддерживать в актуальном состоянии информацию о стоимости всех видов ресурсов, относящихся к специфике атомной отрасли и используемых при сооружении, эксплуатации и выводе из эксплуатации АЭС ВВЭР-ТОИ. БДС МТР предполагает возможность импорта данных не только в экономическую модель, но и в основные сметные программные комплексы, применяемые в отрасли. Использование БДС МТР позволит максимально достоверно определять стоимость затрат по АЭС на всех стадиях жизненного цикла. Архитектура построения экономической модели позволяет использовать ее на любой стадии готовности проекта или времени его реализации, при этом погрешность расчетов тем ниже, чем более подробные и конкретные данные можно получить из управленческих графиков и проектной документации. В экономической модели предусматривается использование трех классов точности исходных данных по стоимости (в настоящее время наивысший класс точности доступен пока только для проекта НВАЭС-2, по которому создана точная ресурсная модель на базе рабочей сметной документации).

Экономическая модель работает как интегратор проектных и управлен-

ческих данных, содержащихся в разных точках компетенции и программных средах единого информационного пространства проекта ВВЭР-ТОИ. Концепцией предусматриваются два уровня управления/пользования моделью (с использованием интерфейса удаленного доступа к расчетным модулям):

- инженер-проектировщик/менеджер проекта (рабочий уровень);
- экономист/топ-менеджер (контрольный уровень).

Рабочий уровень позволяет проанализировать последствия принятия конкретных инженерных и/или управленческих решений. В этом случае соответствующие изменения с той детализацией, которая известна на момент моделирования, вносятся в инструменте проектировщика/конструктора (типа пакета SmartPlant) и/или инструменте управления проектом (типа Primavera) – модель подгружает в себя изменения в исходных данных и по запросу пользователя решает любую модельную задачу под заданные параметры.

Контрольный уровень позволяет решать прямые и обратные задачи, задавать граничные условия. Пример прямой задачи: исходя из затрат, эксплуатационных расходов, КИУМ, мощности блока и необходимого ЧДД считается допустимая отпускная цена электроэнергии. Пример обратной задачи: исходя из ожидаемой цены на рынке электро-

энергии, определяется насколько необходимо ограничить затраты (капитальные затраты, эксплуатационные расходы) и подобрать параметры, при которых достигается необходимая эффективность инвестиций. В частности, в этом качестве экономическая модель может быть использована, как инструмент Заказчика при приемке технического проекта на соответствие требованиям технического задания.

Принципиальные отличия экономической модели всех этапов жизненного цикла проекта ВЭЭР ТОИ от существующих программных продуктов (ТЭО-Инвест, Альт-Инвест, Project Expert и др.) состоят в следующем:

- учет особенностей российской атомной энергетики (в том числе, СЯТ, ОЯТ, РАО, резервы и др.);
- расширенные функциональные возможности (решение прямых, обратных и оптимизационных задач, связь с БДС МТР и единым информационным пространством проекта ВВЭР ТОИ);
- улучшенные потребительские качества (гибкая и точная настройка параметров проекта, простота в использовании, эргономичность, поддержка iPad-версии);
- защищенность программного кода (администрирование, логирование действий);
- возможность постоянного развития модели для решения новых задач.

*Если коротко, то проект «ВВЭР-ТОИ» представляет собой исчерпывающий набор потребительских качеств объекта, отраженных в проекте и включающий аспекты безопасности, стоимости и сроков сооружения. Детализация включает в себя порядка семи тысяч различных требований, без учета действующих нормативных актов. Выстроена система доказательств, что эти требования являются обоснованными. Подготавливаются документы, которые раскрывают представления об объекте и о способах его сооружения. ВВЭР-ТОИ впервые в новейшей истории России изначально задал условия, по которым в проекте должны быть отражены способы сооружения объекта, что очень важно.*

*Директор ПКФ ОАО «Концерн Росэнергоатом» Сергей Егоров*

## Механизмы поддержки инновационных строительных технологий



Калининская АЭС. Фото ОАО «НИАЭП»

### тема номера

Комитет СРО атомной отрасли по инновационному развитию активно занимается поиском, экспертной оценкой и внедрением новых технологий в области строительства, проектирования и инженерных изысканий. На сегодняшний день разработана и утверждена Концепция по организации и реализации инновационных технологий в области сооружения объектов использования атомной энергии, которая создавалась с целью повышения конкурентоспособности предприятий отрасли и обеспечения реализации программы развития атомного энергопромышленного комплекса.

**Автор: Хвоинский Сергей Леонидович**

**Начальник отдела технических нормативов Центра технических компетенций атомной отрасли**



Комитет по инновационному развитию создан в целях разработки концепции по организации и реализации инновационных технологий, формирования базы передовых технологий в строительстве, проектировании и инженерных изысканиях. Председателем, является Элгуджа Леванович Кокосадзе генеральный директор ЗАО «Институт «Оргэнергострой». Работа Комитета связана с выявлением перспективных областей и направлений деятельности, где возможно и необходимо внедрение инноваций, анализом и отбором проектов инновационных технологий. Очень важным моментом является то, что в нашей стране еще нет четкого механизма внедрения инноваций. Это очень сложный процесс, требующий отдельной проработки. В строительной сфере и в атомной отрасли в частности, важно, чтобы новейшие технологии закладывались на стадии проектирования, только в этом случае можно говорить о внедрении инновации. Именно для этой работы и создавался Комитет, который оказывает содействие членам СРО в проведении технических экспертиз, работ расчетно-аналитического характера, подготовке технико-экономических обоснований инновационных проектов. В данный момент при Комитете создана рабочая группа для рассмотрения инновационных технологий организаций-членов СРО атомной отрасли. На сегодняшний день разработана и утверждена Концепция по организации и реализации инновационных технологий в области сооружения объектов использования атомной энергии. Концепция инновационного развития отраслевых СРО создавалась с целью обеспечения внедрения передовых технологий строительства и управления строительством, для повышения конкурентоспособности предприятий отрасли и обеспечения реализации программы развития атомного энергопромышленного комплекса России в части относящейся к компетенции отраслевых СРО.

Основная цель концепции - ускорение внедрения инновационных технологий, в производственные процессы выполняемые при сооружении объектов использования атомной энергии, формирование обоснованного выбора стратегических приоритетов инновационного развития, Анализ проблем

возникающих при внедрении инновационных технологий в производственные процессы и т.д. Одними из самых важных, по нашему мнению, механизмов реализации Концепции являются формирование Программы разработки стандартов СРО атомной отрасли в области инновационных технологий, содействие в привлечении к инновационным проектам и программам частных инвестиций. Ожидаемые результаты реализации концепции - повышение безопасности, повышение качества строительства, снижение стоимости, сокращение сроков строительства и т.д. Дальнейшим этапом развития Комитета по инновационному развитию было создание регламента рассмотрения проектов инновационных технологий комитетом по инновационному развитию отраслевых СРО. Настоящий Регламент Комитета разработан для обеспечения быстрого и эффективного отбора проектов инновационных технологий в строительстве, и определяет порядок проведения комплексной экспертизы инновационных технологий Комитетом. Одним из самых важных разделов данного регламента является перечень документов, представляемых Заявителем на рассмотрение Комитета. В данный раздел Регламента входит технико-экономическое обоснование затрат на создание и реализацию инновационных технологий, письмо-заявление на участие в рассмотрении инновационных технологий Комитетом, а так же анкета заявителя. Комитета была создана «База банных инновационных технологий» для удобства использования она была разделена на «Перечень блоков тем по инновационным технологиям» куда входят:

1. Технологии сооружения объектов использования атомной энергии:
  - 1.1 Технологии крупноблочного строительства;
  - 1.2 Выполнение комбинированного металлополимерного покрытия, технологического оборудования и трубопроводов контурных систем реакторов;
  - 1.3 Технология устройства наливных трудногорючих полов;
  - 1.4 Технологии гидроизоляции

строительных конструкций;

1.5 Устройство кровель с применением негорючих утеплителей и жаробезопасной гидроизоляционной мембраны;

1.6 Технологии предварительного напряжения арматуры;

1.7 Технологии монтажа технологического оборудования и трубопроводов;

1.8 Применение фибробетона для обеспечения трещиностойкости железобетонных конструкций при термических и динамических воздействиях

1.9 Сварочные технологии;

1.10 Инновационное развитие строительных материалов:

- a. полимерные покрытия;
- b. огнезащитные составы для материалов, изделий и конструкций;
- c. пластиковые трубы;
- d. утеплители;
- e. проникающая гидроизоляция;
- f. бетоны и добавки;
- g. пеностекло;
- h. газокарбонат;

и т.д.

1.11 Технология монолитного строительства:

- a. технологии армирования и стыковки арматуры;
- b. технологии несъемной опалубки;
- c. добавки в бетоны;
- d. технология монтажа фибробетонной опалубки;
- e. технология эпоксидных водорастворяемых композиций для защиты бетонных поверхностей;

и т. д.

2. Технологии управления:

2.1 Технология контроля монтажа крупных блоков и оборудования с применением датчиков GPS и штрих-кодов;

2.2 Система управления проектами.

3 Технологии проектирования:

3.1 6d проектирование.

При участии Комитета были проведены такие мероприятия как АТОМЕКС 2011 проходящий 6-8 декабря 2011 года в городе Москве, АТОМЕКС - Северо-Запад проходящий 17-19 апреля 2012 год в городе Санкт-Петербурге, а IV Международный форум поставщиков атомной отрасли АТОМЕКС 2012 проходящий 12 — 14 декабря 2012 год в городе Москве.

# Отечественная СПЗО АЭС

**Автор:** Ситников Сергей Львович, к.т.н., Академик АПК  
**Генеральный директор ООО «Следящие тест-системы»**



**Монтаж армопучков на НВАЭС-2**

Система преднапряжения защитной оболочки (СПЗО) АЭС относится ко 2-му классу безопасности и является последним четвертым барьером препятствующим распространению радионуклеидов и ионизирующего излучения за пределы зоны локализации аварий при проектных и запроектных авариях. Основным силовым элементом железобетонной защитной оболочки являются армопучки из высокопрочных арматурных канатов, которые исключают возникновение растягивающих напряжений в бетоне при повышении давления внутри оболочки при аварии. Первые СПЗО на ВВЭР-1000 приме-

няли армопучки состоящие из 450 паралельных проволок диаметром 5 мм. с усилием натяжения до 950 тон. По многолетнему опыту монтажа и эксплуатации пучков из паралельных проволок выявились ряд недостатков, а именно:

- технология формирования пучка из 450 проволок;
- конструкция фиксации проволок, как через «коуш», так и с помощью «высаженных головок»;
- неравномерность распределения усилия натяжения 950 тон между 450 проволоками;
- релаксация материала проволок в

течении эксплуатации СПЗО;

- несовершенная система коррозионной защиты армопучка.

В связи с большой эффективностью применением технологии преднапряжения железобетона в строительных конструкциях, в 60 годы прошлого столетия, была разработана новая технология преднапряжения. На базе 5 мм. проволоки был создан витой арматурный канат из 7-и 5 мм. проволок и далее в качестве повышения прочностных свойств стали применять стабилизированные канаты с временным сопротивлением разрыву 1860 МПа (ГОСТ Р 53772, EN10138.3), вместо 1670 МПа у не стабилизированных канатов (15К7 ГОСТ 13840). На сегодняшний день ОАО «Северсталь-метиз» отработал полный цикл технологии изготовления отечественных стабилизированных армоканатов, в том числе «пластически» обжатых, что позволяет полностью отказаться от импортных канатов. Фиксация каждого отдельного арматурного каната в анкере обеспечивается с помощью индивидуального клинового зажима, что исключает лавинообразный обрыв всего пучка в случае обрыва одного каната, как в схеме армопучка из паралельных проволок.

Применение пучков из арматурных канатов в СПЗО широко применяется во всех странах имеющих АЭС. Но Российские нормативные требования зачастую принципиально отличаются от иностранных. Например, в европейских СПЗО арматурный пучок из высокопрочных канатов инъецируется цементным раствором, т.к. в европе отсутствует требование о ремонтпригодности армопучков, в отличие от России. В последнее время в европе стали применять арматурный канат в полиэтиленовой трубке также с инъецированием, для возможности дотягивания в процессе эксплуатации. В СПЗО «Проект 2006» была внесена европейская СПЗО со всеми конструктивными, технологическими и нормативными недоработками. Начиная с 2010 года специалистами ООО «СТС» были выполнены ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по разработке отечественной системы СПЗО.

С ОАО «Концерном «Росэнергоатом» была выполнена НИОКР на тему: «Разработка клиновой анкерной системы для преднапряжения железобетонных защитных оболочек (СПЗО) реакторных отделений по проекту АЭС-2006», с ОАО «Атомэнергопроект» выполнена НИОКР на тему: «Разработка и обоснование конструктивных решений отечественной системы предварительного напряжения защитной оболочки РО» на специально построенном стенде Защитной Оболочки в натуральную величину.

В соответствии с Российскими нормами на проектирование СПЗО и опыта проектирования и выполнения работ на более чем 300 искусственных сооружениях с преднапряжением, был разработан армопучок из 55 арматурных канатов и проведены прочностные расчеты напряженно-деформированного состояния системы: армоканаты - анкер - местное армирование - железобетон. В качестве местного армирования применена спираль из арматуры периодического профиля, которая наиболее эффективно воспринимает растягивающие напряжения в бетоне от усилия натяжения армопучка и повышает качество монтажа при монтаже спирали, в отличие от монтажа рядов сеток арматуры или нескольких рядов специальных хомутов. На рис.1 Представлены материалы расчетов напряженно-деформирован-

ного состояния системы.

В соответствии с Российскими нормами по испытаниям анкеров, был разработан и построен силовой железобетонный стенд для прочностных испытаний армопучков с усилием до 2500 тон. Для создания разрывного усилия 55 прядевого армопучка применялись 4 гидродомкрата ДН-19, с общим усилием натяжения 1800 тон. Особенностью разработанного российского армопучка СПЗО является применение пластически обжатых арматурных канатов с более высоким разрывным усилием, чем у канатов с круглыми проволоками, что позволило повысить коэффициент надежности армопучка на 10%. На комиссионных испытаниях с представителями ОАО «АЭП», ОАО «Концерн Росэнергоатом»; ОАО НПО «Цниитмаш»; «НИИЖБ» ФГУП «НИЦ «Строительство»; «ВНИИАЭС» и ООО «СТС», были проведены приёмочные (механические) испытания трёх опытных образцов армопучка АП-55. Нагружение армопучка производилось до обрыва первой проволоки у любого из 55 канатов. По результатам прочностных испытаний комиссия сделала заключение: «Армоэлементы для СПЗО из 55 компактированных канатов диам. 15,2 мм., опорного стакана ОС-55, обоймы АК-55 и клиновых

зажимов обеспечивают агрегатную прочность пучка из 55 арматурных канатов не менее 95% и могут быть переданы в эксплуатацию». В связи с уникальностью построенного стенда для России, на нем также были проведены прочностные испытания специальных силоизмерителей ПСИ-01, ПСИ-02 на 1000 и 1300 тон соответственно, производства ОАО НИИ «Контрольприбор», используемых для мониторинга за напряженно деформированным состоянием СПЗО в процессе эксплуатации.

Дальнейшее развитие отечественной СПЗО, по отработке конструктивных решений и технологий монтажа и эксплуатации, было продолжено в программе выполнения договора НИОКР на полноразмерном железобетонном стенде защитной оболочке. Конструктивные решения при проектировании достаточно часто не учитывают технологические вопросы при выполнении строительно-монтажных работ, а для СПЗО имеющей длины пучков по 150 метров и разновысотность расположения пучков в 61 метр приходится применять особые технологические приемы. Специально построенный для этих целей стенд позволил исследовать ряд проектных, конструктивных и технологических вопросов по СПЗО, а именно:

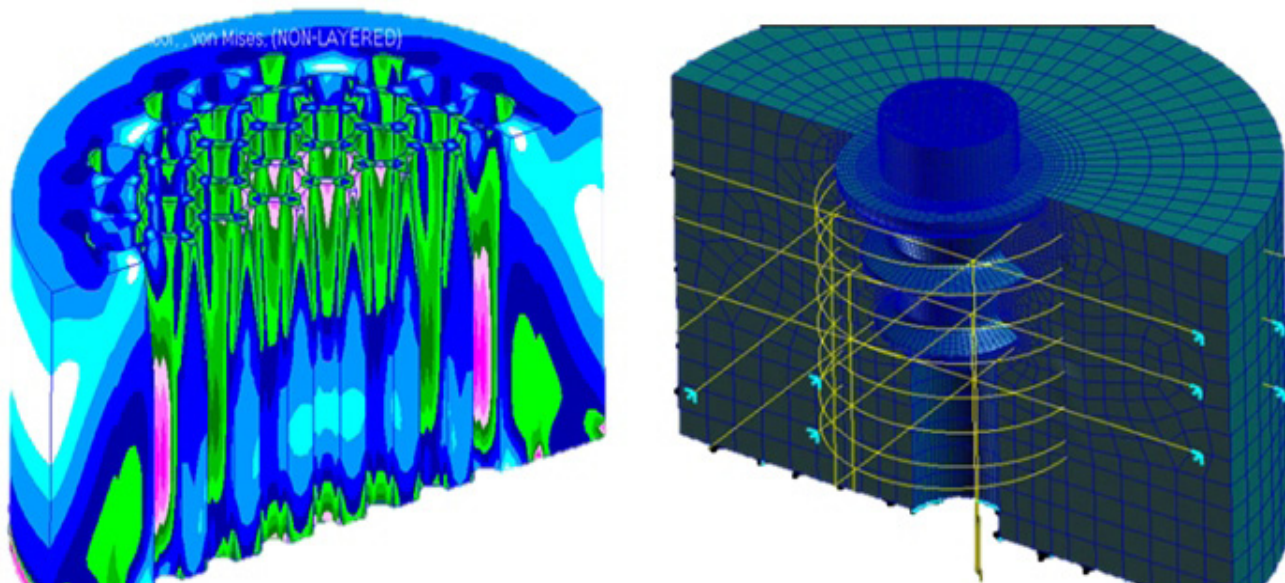


Рис. 1 Определение напряженно деформированного состояния системы.





Натяжение армопучка из 55 арматурных канатов на стенде

- монтаж и демонтаж армопучков из 55 канатов различными способами;
- потери на трение различных типов канатов (в полиэтиленовой трубке и без) в различных типах каналобразователей (полиэтиленовых и гофрированных металлических) с различной кривизной;
- температурные процессы в бетоне при бетонировании защитной оболочки;
- различные технологии монтажа высокопрочных канатов;
- распределение усилия натяжения между канатами в пучке;
- напряженно деформированное состояние оболочки измеренное силоизмерителями ПСИ-02 на анкере и специальными оптоволоконными датчиками в бетоне по длине пучка;
- антикоррозионная защита армопучка в процессе эксплуатации;
- ремонтпригодность армоканатов после натяжения пучка;
- измерение усилия в пучке в процессе эксплуатации с помощью специального гидродомкрата «Отрыв 55»;
- исправление последствий нарушения полиэтиленовой трубки канатов;
- технология инъектирования каналобразователей;
- новые технологии антикоррозийной защиты армоканатов;
- технология натяжения армопучков и пр.

Результаты работ по созданию отечественной СПЗО внесены в рабочую документацию на НВАЭС-2 и БалтАЭС и успешно реализуются в соответствии с графиком строительства.

Впервые на НВАЭС-2 успешно применена принципиально новая технология монтажа армопучков в каналобразова-

тели. Монтаж горизонтальных пучков производился до укладки бетона, что позволило исключить проблемы с непроходимостью каналобразователей после бетонирования, которые имели место быть на целом ряде СПЗО в России и за рубежом. Тщательная проработка технологии и подготовка необходимого оборудования позволила достичь темпа монтажа армопучка из 55 арматурных канатов 3 штук в световой день.

Отечественная СПЗО уже показала свою эффективность в экономическом и технологическом плане по сравнению с импортной системой, а именно:

1. Сокращение стоимости только поставки комплектующих СПЗО на один блок, более 60 млн. рублей;
2. Исключение затрат на аренду (с временным ввозом) специального импортного оборудования для выполнения работ по монтажу армоканатов, изготовления каналобразователей, инъектирования каналов и натяжения армопучков;
3. Энергобезопасность АЭС РФ за счет применения всех отечественных комплектующих и специального оборудования СПЗО;
4. Соответствие СПЗО Российским нормативным документам и проекту;
5. Технологичность монтажа армопучков СПЗО исключающая задержки сроков строительства;
6. Загрузка работой отечественных заводов и строителей.

В настоящее время отечественная система СПЗО, разработанная ОАО «Атомэнергопроект» и ООО «СТС», заложена в основу СПЗО реакторных зданий

АЭС ВВЭР-ТОИ. Специалисты ООО «СТС» входят в состав рабочей группы по строительному-монтажным технологиям для сооружения АЭС с ВВЭР ТОИ. Дальнейшее развитие отечественной СПЗО продолжается, и на очереди поставлены следующие программы: разработка армопучков с большим усилием натяжения (в том числе с карбоновыми канатами); система мониторинга за усилием натяжения армопучков на всем периоде эксплуатации в 60 лет; обеспечение нормативных термо-физических процессов при бетонировании преднапряженной защитной оболочки без трещин и «холодных швов»; проработка конструкции армопучков с учетом технологии ускоренного монтажа и ремонта армопучков. Важнейшим направлением развития технологии СПЗО является разработка соответствующего стандарта СРО «Союзатомстрой». Действующие нормативы РФ на преднапряжение, указанные выше, не дают однозначных ответов конструкторам, проектировщикам, изготовителям, Заказчику и Генподрядчику на возникающие конкретные вопросы.

Именно поэтому, возник запрос на стандарт СПЗО в рамках СРО. В структуре стандарта заложены требования к конструированию, строительству, эксплуатации и ремонту, принята принципиально новая архитектура построения стандарта, условно названная «вертикально интегрированная», в которой сведены воедино требования по конструированию, изготовлению, строительному-монтажным работам, ремонту и эксплуатации СПЗО.

## Тема номера

# Перспективы возведения зданий и сооружений АЭС из армоблоков с несъемной сталефибробетонной опалубкой

Р.О. Красновский, В.А. Дорф  
ЗАО «Институт «Оргэнергострой»

В настоящее время перед атомной энергетикой России поставлена задача, в соответствии с которой сроки сооружения и ввода в эксплуатацию энергоблоков АЭС должны быть доведены до 35 – 45 месяцев (3-4 года). Поставленная цель может быть достигнута за счет применения сборно-монолитной технологии строительства, которая позволяет использовать все преимущества монолитного и полносборного строительства и полностью исключить, все свои недостатки [1].

Использование армоблоков полной заводской готовности с несъемной сталефибробетонной опалубкой и автоматической сварки при их стыковке позволит существенно ускорить строительство АЭС. Армоблоки полной заводской готовности, в общем случае, могут включать: армокаркасы, несъемную несущую сталефибробетонную опалубку, обрамления дверных проемов и люков, аппаратуру для мониторинга технического состояния строительных конструкций в процессе эксплуатации, элементы систем инженерных коммуникаций.

На стройбазе из армоблоков стен выполняется укрупнительная сборка жестких самонесущих фрагментов стен помещений. На объекте выполняется монтаж фрагментов помещений и укладка в армоблоки стен самоуплотняющегося бетона (СУБ) с последующей установкой крупногабаритного технологического оборудования. На забетонированные армоблоки стен устанавливаются армоблоки перекрытий и формируются равнопрочные стыки. После чего в армоблоки перекрытий укладывается СУБ и бетонируются фундаменты под технологическое оборудование. Все эти работы выполняются без установки лесов и подмостей.

Важным элементом армоблоков являются листы несъемной сталефибробетонной опалубки толщиной 20-30 мм. Сталефибробетон представляет собой цементнопесчаную матрицу, в состав которой при ее изготовлении вводят стальные волокна [3]. Основные требования к матрице состоят в том, что она

должна иметь высокую прочность, обеспечивающую ее сцепление с волокнами фибры, а также подвижность фибробетонной смеси, позволяющую укладывать ее без применения виброуплотнения (т.е. СУБ), и вязкость, предотвращающую сегрегацию волокон фибры по толщине укладываемого слоя. Эти свойства сталефибробетонной смеси достигаются за счет введения в нее современных пластифицирующих и высокодисперсных активных минеральных добавок.

Применяемые для изготовления сталефибробетонных стальные волокна имеют диаметр от 0,2 до 1,2 мм и длину от 15 до 40 мм. По способу анкеровки в матрице их можно разделить на два основных типа – имеющие анкера по концам или переменный профиль по длине волокна.

Предел прочности при растяжении для разных видов фибры составляет от 390 до 2500 МПа. При выборе вида фибры в первую очередь ориентируются на достижение равно-веса между прочностью волокон и прочностью их заделки в матрице. Важным фактором также является способность волокон не образовывать при перемешивании и укладке сталефибробетонной смеси, так называемых, «ежей».

В зависимости от геометрических характеристик волокон стальной фибры в сталефибробетон можно ввести до шести процентов от его объема (предельный процент армирования железобетона - 3 %). При проценте армирования менее 0,5 введение фибры не сказывается на прочности сталефибробетона, но предотвращает появление усадочных микротрещин [4]. Увеличение процента армирования относительно мало влияет на рост прочности сталефибробетона на сжатие (не более, чем на 30-40 % от прочности его матрицы). Наибольшее влияние рост процента армирования оказывает на прочность на растяжение при изгибе. Здесь прочность повышается в 2-3 раза. При этом сталефибробетон обладает,

так называемой, «остаточной прочностью при изгибе», то есть после образования единственной макротрещины разрушения с раскрытием от 0,5 до 2,5 мм он может воспринимать нагрузку, соответственно, от 80 % до 30 % от максимальной.

У сталефибробетона ударная вязкость в 10 раз выше, чем у бетона, а пожаростойкость выше в 4 раза. При этом вплоть до разрушения не образуется трещин с раскрытием более 20 мкм, в которые не проникает вода даже под давлением 20 атм (класс по водонепроницаемости W20 и более). ЗАО «Институт «Оргэнергострой» совместно с ОАО «Атомэнергопроект» с 2009 года планомерно занимаемся вопросами применения сталефибробетона при возведении зданий и сооружений атомных электростанций, в первую очередь несущей сталефибробетонной опалубкой, а также применением сталефибробетона в качестве горизонтальной и вертикальной гидроизоляции для сооружений АЭС. В процессе выполнения этих работ было изучено влияние вида и процента армирования на технологические характеристики сталефибробетонных смесей и основные механические характеристики сталефибробетона [5].

В мировой практике обычно применяют сталефибробетон с процентом армирования по объему не более 1,5 (как правило, 0,5 ...1 %). Из такого сталефибробетона обычно [4], изготавливают относительно массивные строительные конструкции, такие, например, как плиты высоких и низких свайных ростверков, фундаментные плиты, сваи, тоннельные обделки [3], причальные сооружения. Проведенные нами лабораторные и натурные испытания показали, что при трех процентах армирования прочностные и эксплуатационные характеристики сталефибробетона позволяют изготавливать листы несъемной опалубки толщиной 15-30 мм,

которые воспринимают вес слоя бетона толщиной более двух метров при шаге их крепления один метр.

Сталефибробетонные листы можно изготавливать методом укладки (налива) самоуплотняющейся сталефибробетонной смеси, как при обычном бетонировании. Также можно применять и методом торкретирования. Этот метод позволяет наносить сталефибробетонную смесь на вертикальные и горизонтальные поверхности, в том числе потолочные, что позволяет выполнять с его помощью ремонт и усиление строительных конструкций.

В качестве материала форм для изготовления сталефибробетонных листов можно использовать ламинированную фанеру.

Соответствующий состав сталефибробетонной смеси позволяет производить распалубку тонкостенных элементов уже через сутки твердения в нормальных условиях. Для снятия листов с поддона при распалубливании, монтажа и транспортирования в листы сталефибробетонной опалубки при их формировании устанавливают закладные детали и петли (Рисунок 1).

Сталефибробетонные листы обладают хорошей адгезией к бетону и теплоизоляционным материалам, что позволяет изготавливать комбинированные конструкции и выполнять ремонтные работы. Повышение сцепления листов несъемной сталефибробетонной опалубки с бетоном можно достичь за счет или увеличения поверхности кон-

такта, создавая рифленую поверхность методом накатки (Рисунок 2), или за счет установки при формировании листов закладных деталей. Проведенные расчеты показали, что сталефибробетонные листы опалубки с учетом их хорошей адгезии к бетону при фибровом армировании, равном трем процентам, могут заменять конструктивную арматуру (хомуты), которую устанавливают с целью предотвращения потери устойчивости сжатых стержней рабочей арматуры на стадии близкой к разрушению. В свою очередь, уменьшение поперечной арматуры не только уменьшает ее общий расход, но и обеспечивает лучшие условия для укладки бетона в свободное пространство внутри армоблоков.

Высокая трещиностойкость сталефибробетона обеспечивает его высокую морозо- и жаростойкость. Класс по морозостойкости сталефибробетона, как правило, не менее F 1000, жаростойкость в 4 раза выше, чем у бетона. Все это позволяет отказаться от устройства защитного слоя бетона, уменьшив тем самым толщину конструкций. Кроме того фибробетонная опалубка может быть использована как несущий элемент железобетонных конструкций, частично заменяя стальную арматуру.

Одним из важных достоинств несъемной сталефибробетонной

опалубки является возможность использовать ультразвуковой метод для мониторинга качества укладки бетонной смеси в конструкцию и набора бетоном прочности при твердении.

Конструкции армоблоков стен с несъемной сталефибробетонной опалубкой различаются, главным образом, способами обеспечения их пространственной жесткости, передачи усилий от рабочих стержней армокаркаса одного армоблока к другому, а также креплением листов несъемной опалубки к армокаркасу. Пространственную жесткость армокаркаса обеспечивают за счет включения в него поперечных ферм (Рисунок 3), либо продольных рам жесткости (Рисунок 4). К ним же крепят и листы несъемной сталефибробетонной опалубки.

Поперечные фермы предотвращают взаимное вертикальное смещение в плоскости армокаркаса его боковых плоскостей, а также изменение расстояния между ними. Однако поперечные рамы не могут предотвратить взаимное горизонтальное смещение боковых плоскостей, поскольку арматурные стержни армокаркаса соединены с поперечными рамами не жестко, допуская некоторое смещение. Прикрепленные к выпускам из ферм листы несъемной опалубки также не обеспечивают требуемой жесткости армоблока, поскольку посадочные отверстия в них прослаблены, чтобы облегчить их монтаж.



Рисунок 1 - Распалубка сталефибробетонного листа толщиной 30 мм



Рисунок 2 – Рифленая поверхность листа сталефибробетонной несъемной опалубки



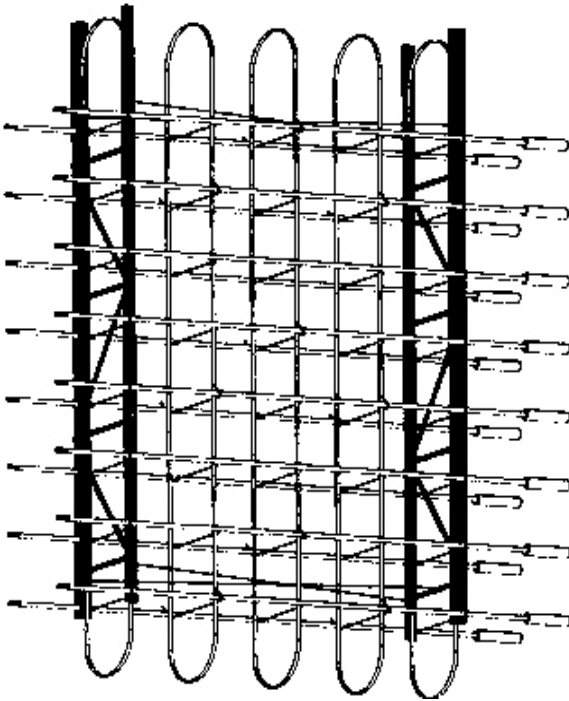


Рисунок 3 - Армокаркас с поперечными фермами жесткости

Кроме того, объемный армокаркас по своей конструкции не может быть разделен на два плоских, чтобы, например, упростить сборку или транспортирование.

Плоские рамы с прикрепленными к ним на болтах листами несъемной сталефибробетонной опалубки представляют плоские жесткие конструкции, а при объединении по вертикальным торцам на сварке с помощью стальных пластин или стержней создается жесткий объемный армоблок (Рисунок 5).

Для изготовления продольных рам целесообразно применять не стальные прокатные профили, а гнутые, что позволяет на 20-30 % уменьшить расход металла и облегчить условия сварки армоблоков между собой.

Основное отличие армоблоков перекрытий от армоблоков стен состоит в том, что нагрузку от укладываемого в них бетона и рабочей арматуры воспринимают поперечные фермы и прикрепленные к ним листы несъемной сталефибробетонной опалубки (Рисунок 6). Армоблоки перекрытий при монтаже опираются на специальные выступы армоблоков стен, что исключает необходимость установки лесов и подмостей (Рисунок 7). Передачу усилий от стержней рабочей арматуры одного армоблока к другому в общем случае можно осуществлять с помощью перепускных стержней (Рисунок 8), стыков Передерия (Рисунок 9), а также различного рода муфт (Рисунок 10) и сварки. Оба типа армоблоков позволяют передавать усилия такими способами. Однако эти типы стыков выполняют-

ся вручную и, практически, не могут быть автоматизированы, что, соответственно, требует значительных трудозатрат и увеличения сроков монтажа строительных конструкций. В стыках армоблоков стен с армоблоками перекрытий, в общем случае, могут быть применены те же конструктивные решения, что и в стыках армоблоков стен (Рисунок 11). Отсутствие четко сформированных граней у армоблоков, соединяемых на муфтах или при помощи стыков Передерия, усложняют их монтаж в части обеспечения точности геометрических размеров образуемых ими помещений и при укрупнительной сборке.

Применение стыков Передерия в Т-образных (Рисунок 9) и крестовых узлах конструкций приводит к концентрации большого числа арматурных стержней, что затрудняет укладку бетона. Кроме того, стык Передерия является вариантом перепускных стержней с кольцевым анкером. Поэтому, в соответствии с СП 52-101-2003, ограничен диаметр стыкуемых стержней (20 мм). Кроме того петля стыка Передерия должна быть расположена на расстоянии не менее 20 диаметров арматуры от места ее теоретического обрыва, что конструктивно невозможно обеспечить в ряде стыков, например перекрытия со стенами (Рисунок 9).

Как показал опыт монтажа армокаркасов с использованием винтовых муфт достаточно сложно обеспечить точность сопряжения стыкуемых



Рисунок 4 - Армокаркас с продольными рамами жесткости

стержней. Так, например, столкнувшись с этой проблемой, компания AREVA разработала специальную шарнирную конструкцию, которая должна обеспечивать точность стыковки стержней (Рисунок 12).

В армоблоках с плоскими рамами стержни рабочей арматуры можно приваривать к полкам уголков рам так, чтобы длина швов и ширина полки позволяли передавать усилия от стержней на уголок. При такой конструкции армоблоки на монтаже непосредственно примыкают друг к другу, что позволяет обеспечить высокую точность монтажа и соединять их с помощью автоматической сварки (Рисунок 13), что, в свою очередь, уменьшает трудозатраты и повышает скорость монтажа. Исходя из изложенных выше соображений, была рассмотрена схема монтажа фрагмента помещения обстройки реакторного отделения АЭС из армоблоков с продольными рамами и несъемной сталефибробетонной опалубкой

Предложенная схема монтажа армоблоков с несъемной сталефибробетонной опалубкой была апробирована на фрагментах армоблоков стен и перекрытий с плоскими рамами, объединяемых между собой на сварке или с помощью стыков Передерия.

Рабочая арматура и толщина фрагментов армоблоков были приняты в соответствии с проектом ВВЭР-ТОИ. Поскольку в экспериментах отработывалась, в основном, технология изготовления и монтажа узлов армоблоков, то, исходя из условий выполнения монтажных

работ внутри экспериментального цеха, высота и длина фрагментов армоблоков была кратны 1600 мм. Также в них не были сделаны обрамления для дверей и проходов.

Точность монтажа фрагмента помещения в плане определялась разметкой, нанесенной на жесткий плаз.

В процессе монтажа армоблоков и

фрагмента помещения оценивалась степень удобства выполнения монтажных работ, и в том числе необходимость рихтовки. Фрагменты помещений не менее трех раз собирались и разбирались.

При монтаже фрагмента помещения с армоблоками, объединяемыми с помощью стыков Передерия,

возникали сложности, связанные с необходимостью рихтовки отдельных пель.

На Рисунок 14 и Рисунок 15 показаны полученные фрагменты помещений, смонтированные без применения каких либо подмостей или других поддерживающих устройств.



Рисунок 5 – Объемный армоблок из армокаркасов с продольными рамами

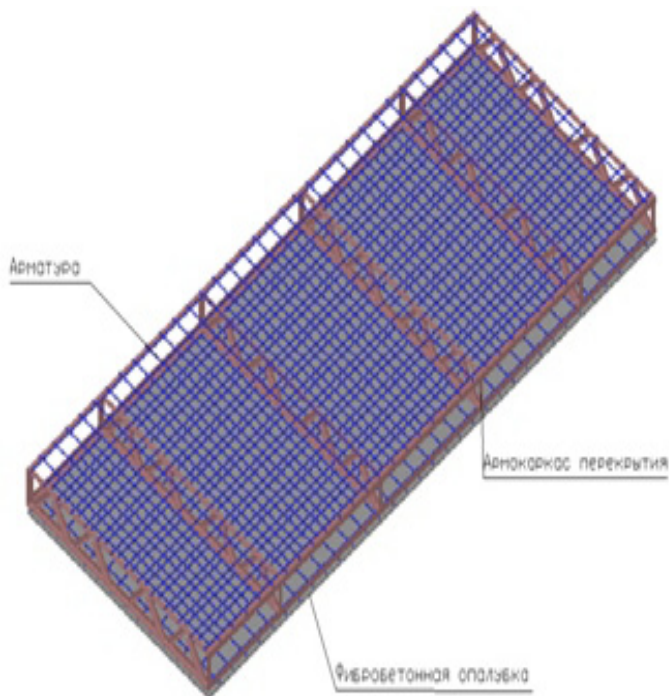


Рисунок 6 – Конструкция несущего армоблока перекрытия

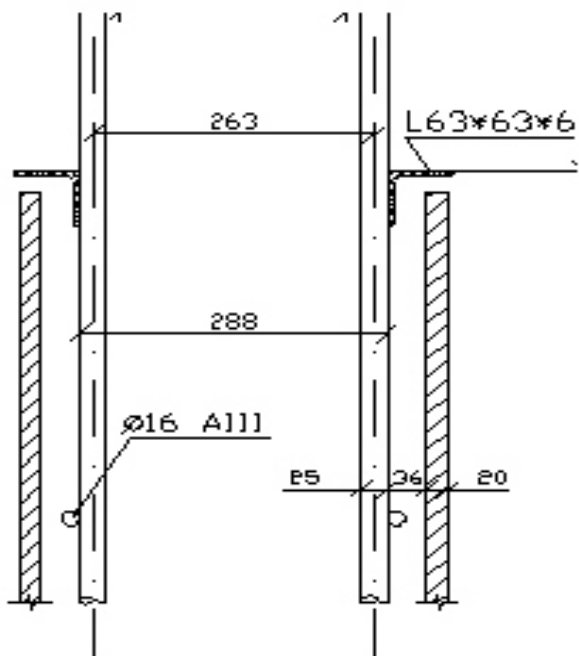


Рисунок 7 - Узел армоблока стены с уголками, обеспечивающими опирание армоблока

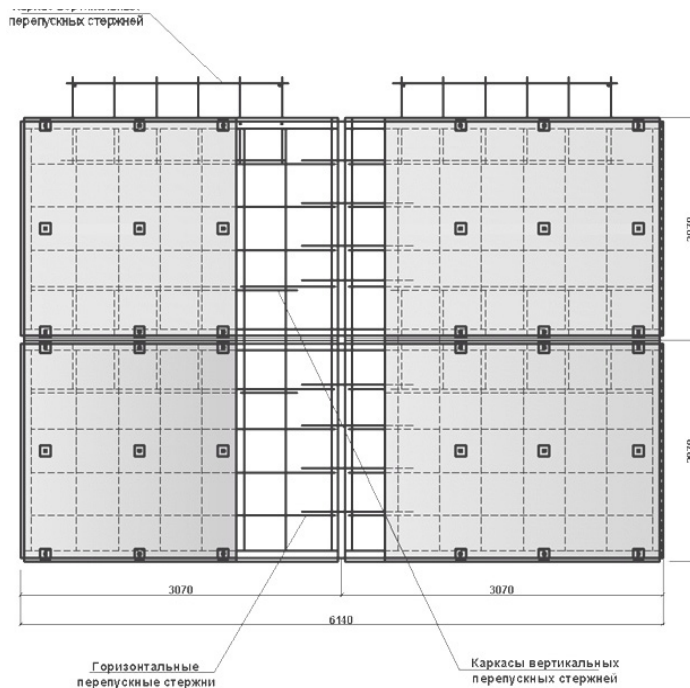


Рисунок 8 - Схема соединения с помощью перепускных стержней четырех армоблоков стены с плоскими рамами





Рисунок 9 - Узел соединения армоблоков с плоскими рамами стены и перекрытия с помощью стыков Передерия

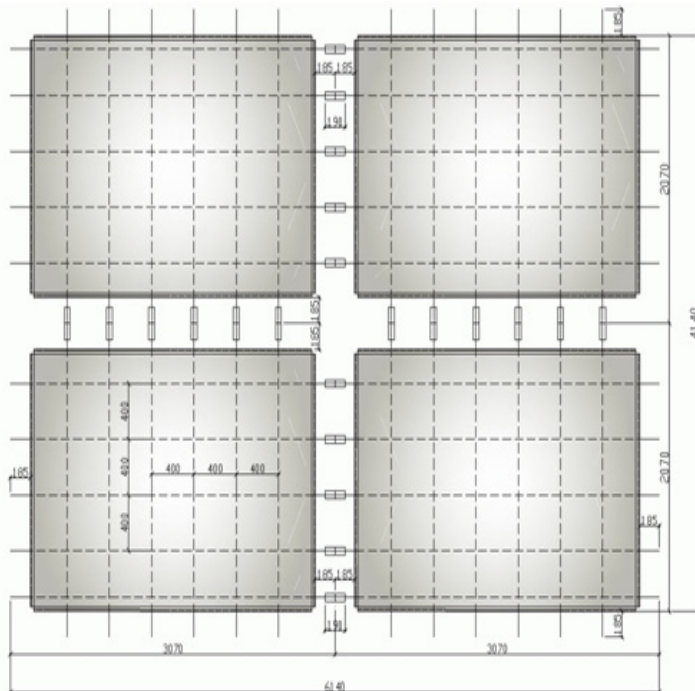
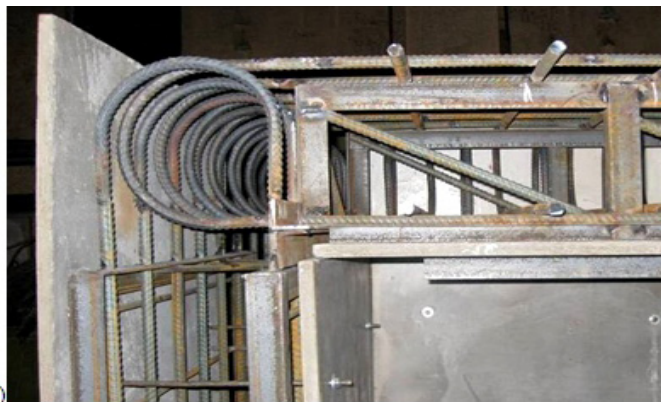


Рисунок 10 - Схема соединения с помощью муфт четырех армоблоков стены с плоскими рамами



а)



б)

Рисунок 11 – Фрагменты стыков армоблока перекрытия на армоблока стены: а) соединение на сварке, б) соединение с помощью стыка Передерия

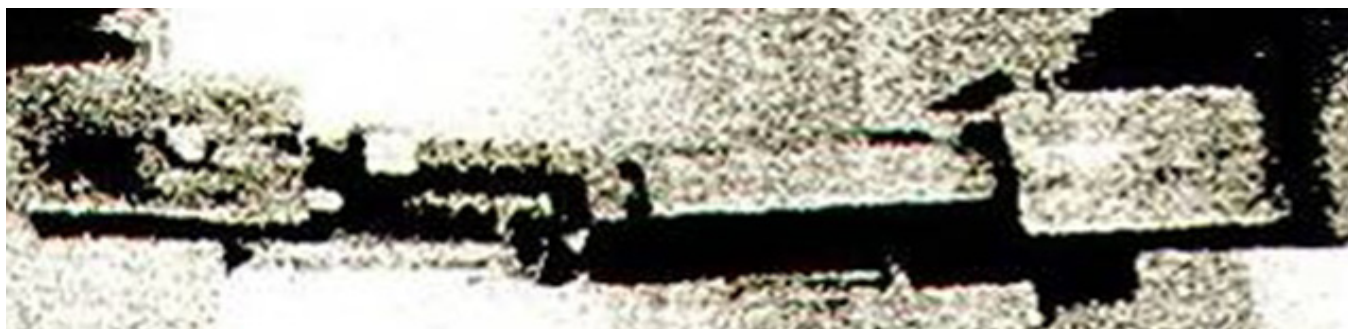


Рисунок 12 – Шарнирное винтовое соединение стержней арматуры компании AREVA





Рисунок 13 – Фрагмент вертикального сварного стыка армоблоков стен с продольными рамами



Рисунок 14 – Фрагмент помещения обстройки реакторного отделения, смонтированный с помощью сварки из армоблоков стен и перекрытия с продольными рамами.





Рисунок 15 – Фрагмент помещения обстройки реакторного отделения, смонтированный с помощью стыков Передерия из армоблоков стен и перекрытия с продольными рамами.

#### ВЫВОДЫ:

Проведенные экспериментальные, опытно конструкторские и монтажные работы позволили сделать вывод о целесообразности применения при строительстве АЭС армоблоков стен и перекрытий с несъемной сталефибробетонной опалубкой.

Сталефибробетонная несъемная опалубка в виде листов толщиной 20...25 мм при 3 % армирования по объему стальной фиброй при пролете до 1 м воспринимает нагрузку от слоя свежеуложенного бетона высотой не менее 2-х метров.

Сталефибробетонная несъемная опалубка за счет своих высоких по сравнению с бетоном физико-механических характеристик позволяет отказаться от устройства в железобетонных конструкциях защитного слоя бетона (она выполняет эту функцию), а также от установки конструктивной арматуры, предотвращающей потерю сжатыми стержнями арматуры устойчивости на стадии близкой к разрушению.

Близкие к бетону акустические характеристики сталефибробетонной несъемной опалубки, позволяют осуществлять ультразвуковой мониторинг качества укладки бетонной смеси в

конструкцию и кинетики твердения бетона.

При формировании сталефибробетонных листов несъемной опалубки в них можно устанавливать закладные детали, в том числе подъемные петли, обрамления дверных проемов, проходок, а также анкера для крепления арматуры и улучшения сцепления листов с бетоном.

Себестоимость изготовления листов сталефибробетонной опалубки не превышает стоимости изготовления аналогичных конструкций из железобетона.

Армоблоки полной заводской готовности стен и перекрытий с несъемной сталефибробетонной опалубкой и плоскими рамами обладают необходимой пространственной жесткостью, позволяющей осуществлять их транспортировку и монтаж.

Соединяемые на сварке армоблоки стен и перекрытий с несъемной сталефибробетонной опалубкой и плоскими рамами полной заводской готовности позволяют возводить здания и сооружения с минимальными затратами ручного труда и максимальным использованием автоматической сварки.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Дорф В.А, Красновский Р.О. «Ускорение для АЭС» Энергетика: тенденции и перспективы № 04 2010 г
2. Дорф В.А «Совершенствование технологии и ускорение строительства АЭС», Шестая Международная научно-техническая конференция «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики» – МНТК-2008 (Москва, 21–23 мая 2008 г.)
3. Рабинович Ф.Н. 2012 «Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции». Москва: АСВ, 2004. 560 с.
4. Concrete Society Technical Report 63, 2007 'Guidance for the design of steel-fiber-reinforced concrete»
5. Ремнев В.В., Красновский Р.О., Шкутов Н.С. 2012 «Влияние характеристик стальной фибры на технологические и физико-механические свойства фибробетонов». Вестник отделения строительных наук РААСН, вып. 16, т. 2., С. 103.

## Целесообразность применения автоматизированных систем мониторинга для оценки текущего состояния строительных конструкций зданий и сооружений

Болдырев Г.Г., профессор Пензенского государственного университета архитектуры и строительства

Епинин Е.С., Технический директор ЗАО «Совасатом-М»,

В настоящее время, оценка технического состояния строительных конструкций, выполняется методами визуального и неразрушающего контроля с использованием переносных технических средств [1-3]. Несмотря на их надежность, основным недостатком данных методов испытаний является то, что они могут быть выполнены только в период планового обследования, ремонта или замены эксплуатируемого оборудования.

Эта ограниченность методов неразрушающего контроля явилась мотивацией для исследователей к созданию альтернативных методов оценки технического состояния машин, механизмов или строительных конструкций в процессе их эксплуатации. В результате исследований, первоначально в области авиастроения и военно-промышленного комплекса был разработан метод оценки текущего (непрерывного) напряженно-деформированного состояния конструкций [5-13]. Поэтому, в настоящее время, наряду с неразрушающими методами контроля стала применяться непрерывная диагностика технического состояния конструкций, с использованием автоматизированных систем мониторинга. За рубежом их называют системами мониторинга здоровья конструкций «Structural Health Monitoring – SHM». В атомной энергетике эти системы называются «On-Line Monitoring» [8, 10], что можно перевести как непрерывный мониторинг.

В настоящее время основные требования к системам мониторинга, регламентированы в рамках национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р 22.1.12-2005 [14] и распространяется на различные категории потенциально-опасных объектов, зданий и сооружений, подлежащих оснащению структурированными системами мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС). В дальнейшем, в тексте, под автоматизированными системами мониторинга будем понимать СИМС.

Основное назначение СИМС заклю-

чается в выявлении зарождающихся дефектов и повреждений в материалах различных конструкций.

СИМС обладают следующими преимуществами:

1. В отличие от неразрушающих методов контроля они работают непрерывно и позволяют контролировать параметры технического состояния конструкций в режиме реального времени.
2. СИМС обладают способностью непрерывно или с заданным интервалом времени, диагностировать места возникновения дефектов в виде зарождающихся микротрещин, деструкции материала и оценивать остаточный ресурс конструкций.
3. Применение СИМС позволяет назначать плановый ремонт конструкций не по графику, а по их фактическому техническому состоянию, что увеличивает межремонтные сроки и сокращает затраты при их эксплуатации.
4. Использование СИМС повышает безопасность производства, так как они непрерывно оценивают техническое состояние конструкций и в случае превышения диагностируемых параметров выдают сообщение на рабочее место оператора.

В общем случае, система мониторинга включает набор датчиков различного назначения, устройства сбора данных с датчиков (регистраторы) и набор программ, которые предназначены для управления процессом сбора данных, их хранения в базе данных, обработки данных с использованием специальных процедур и алгоритмов. На рис. 1 показана структурная схема одной из систем мониторинга [15].

Применительно к зданиям и сооружениям мониторинг - это система визуальных и инструментальных наблюдений за техническим состоянием конструкций существующих зданий и сооружений (МСК), нацеленная на оперативное установление возможных негативных воздействий и на их устранение.

СИМС, как и МСК рекомендуется [14] проектировать на базе программно-технических средств, осуществляющих мониторинг и включающие следующие компоненты: комплекс измерительных

средств, средств автоматизации и исполнительных механизмов; проводной или беспроводной сети передачи информации; соответствующие программы расчета напряженно-деформированного состояния конструкций зданий и сооружений.

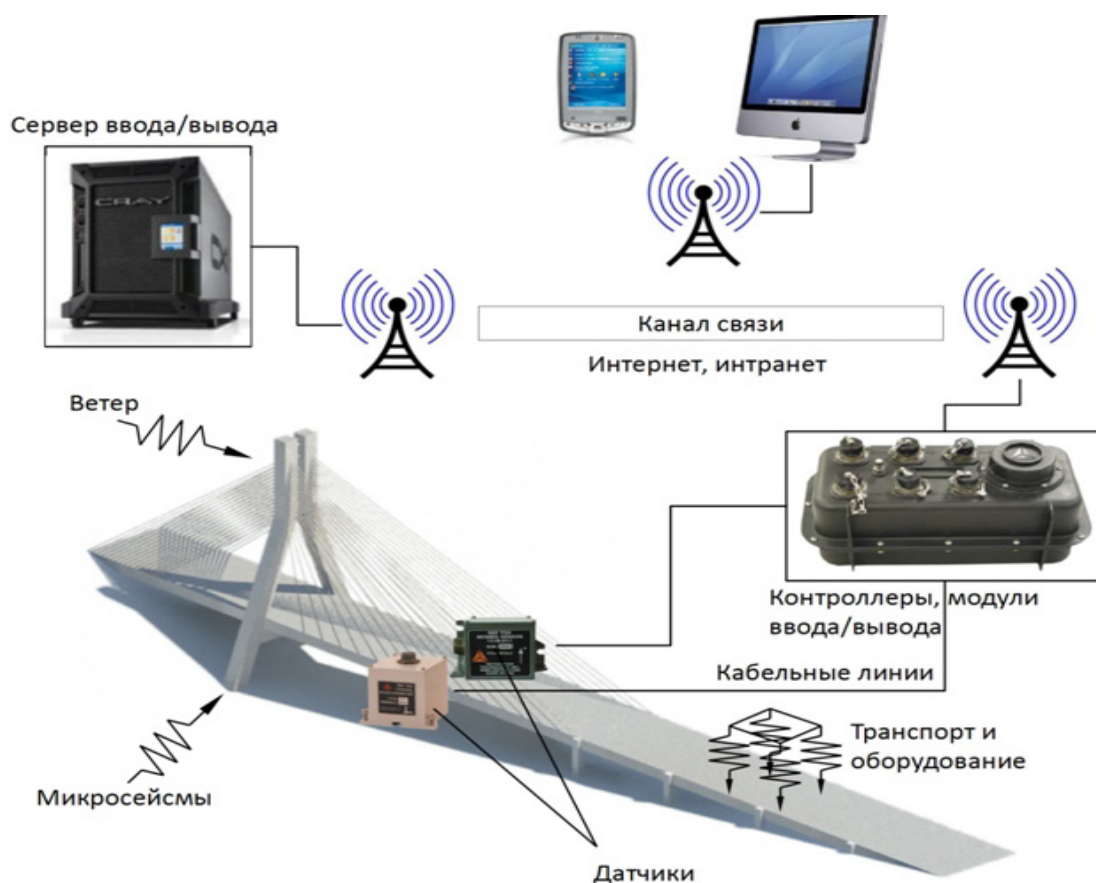
Согласно п. 4.9 ГОСТ Р 22.1.12-2005 СИМС подлежат обязательной установке на потенциально опасных, особо опасных, технически сложных и уникальных объектах.

К особо опасным объектам относят:

- ядерно – и/или радиационно-опасные объекты (атомные электростанции, исследовательские реакторы, предприятия топливного цикла, хранилища временного и долговременного хранения ядерного топлива и радиоактивных отходов;
- объекты уничтожения и захоронения химических и других отходов;
- гидротехнические сооружения 1-го и 2-го классов;
- крупные склады для хранения нефти и нефтепродуктов (свыше 20 тыс. тонн) и изотермические хранилища сжиженных газов;
- объекты, связанные с производством, получением или переработкой жидкофазных или твердых продуктов, обладающих взрывчатыми свойствами и склонных к спонтанному разложению с энергией возможного взрыва, эквивалентной 4,5 тонн тринитротолуола;
- предприятия по подземной и открытой (глубина разработки свыше 150 м) добыче и переработке (обогащению) твердых полезных ископаемых;
- тепловые электростанции мощностью свыше 600 МВт.

К технически сложным объектам относят:

- морские порты, аэропорты основной взлетно-посадочной полосой длиной 1800 м и более, мосты и тоннели длиной более 500 м, метрополитены;
- крупные промышленные объекты с численностью занятых более 10 тысяч человек.



### Структурная схема автоматизированной системы мониторинга

1. Общий мониторинг технического состояния зданий и сооружений – система наблюдения и контроля, проводимых по определенной программе, для выявления объектов, на которых произошли существенные изменения напряженно деформированного состояния несущих конструкций и для которых необходимо проведение обследования состояния.

2. Мониторинг технического состояния зданий и сооружений, находящихся в ограниченно работоспособном или аварийном состоянии. При мониторинге зданий, для которых установлено, что их состояние соответствует аварийному или ограниченно работоспособному, контролируют процессы, протекающие в конструкциях и в грунте до и во время их восстановления или усиления.

3. Мониторинг технического состояния зданий и сооружений, попадающих в зону влияния крупных взрывов или природно-техногенных воздействий – контроль процессов, протекающих в конструкциях и грунте для своевременного обнаружения и прогноза развития негативных ситуаций, а также принятие мер для их устранения.

4. Мониторинг технического состояния особых зданий и сооружений осуществляется с целью обеспечения их без-

опасного функционирования и является основой проведения эксплуатационных работ на этих объектах. Особыми зданиями и сооружениями считаются здания высотой более 75 м, для которых установлена необходимость постоянного мониторинга технического состояния несущих конструкций.

При создании систем МСК решаются следующие основные задачи [4]:

- выбор объектов контроля (тип конструкций, число контролируемых однотипных конструкций);

- выбор наиболее ответственных конструктивных элементов зданий или сооружений, определение в них опасных сечений и назначение контрольных точек для установки приборов и измерений;

- разработка методов определения контролируемых параметров, выбор серийных или разработка индивидуальных технических средств контроля, изготовление и установка их на объекте;
- проведение инструментальных и визуальных наблюдений, определение фактических перемещений, напряжений, усилий в контролируемых конструктивных элементах;

- оценка технического состояния конструкций по данным сопоставления анализа инструментальных измерений

с результатами аналитических или численных расчетов с критериальными параметрами.

В последнее время все чаще применяется непрерывный диагностический мониторинг [16 - 18], т. е. система наблюдений за состоянием объекта для своевременного выявления изменений в объекте, оценки, а также прогноза прочности и надежности его элементов, предупреждения и устранения последствий негативных процессов. Мониторинг позволяет в любой момент времени получить информацию о техническом состоянии элементов и конструкции в целом. Зарубежный опыт использования автоматизированных систем контроля технического состояния строительных конструкций показывает, что их стоимость составляет 1- 3% от стоимости объекта.

Система мониторинга строительных конструкций предполагает установку различных датчиков на элементах конструкций зданий и сооружений с целью определения влияния физического (влажность, температура, кислотность окружающей среды) и силового (статическая и динамические нагрузки) воздействия на их прочность и деформируемость.



Первые системы были созданы для наблюдения за конструкциями при землетрясении. Это традиционное их применение способствовало более глубокому пониманию природы землетрясений, их влияние на конструкции, что в итоге привело к разработке более надежных проектов сооружений, в зонах с высокой сейсмической активностью. Первые системы мониторинга устанавливались на крупномасштабные конструкции, такие как госпитали, дамбы и протяженные мосты.

В большинстве случаев, известных из мировой практики, системы мониторинга наиболее широко используются для контроля поведения длинных мостов. В Калифорнии, на 61 мост установлено 900 датчиков. Калифорнийский департамент транспорта использует результаты измерений не только для тестирования проектных решений, но и также при устранении повреждений сразу же после больших землетрясений. В Европе применяют оптоволоконные датчики деформации для управления нагрузками на конструкции и определения прогибов железобетонных мостов. В Китае многие большие мосты были подвергнуты инструментальным наблюдениям в течении их строительства.

Наблюдаемые, в последнее время, разрушения зданий и сооружений на территории РФ вынуждают использовать подобные технологии с целью исключения аварийных ситуаций. Наиболее часто для этой цели применяются проводные системы мониторинга. Однако, подобные системы мониторинга используют стандартные датчики и системы сбора и передачи информации, которые не только сложны к установке на конструкциях, но и дорогие. Для примера, один акселерометр может стоить от 10 до 500 Евро, а система сбора информации и соединительные кабели для каждого датчика от 1000 до 2000 Евро. Это означает, что стандартные системы мониторинга, включающие большое количество датчиков являются дорогостоящими и поэтому устанавливаются, как правило, только на ответственных сооружениях.

Однако в последнее время стали применяться новые технологии, которые оказываются существенно дешевле при их использовании для мониторинга конструкций. Одной из подобных технологий является

беспроводная система передачи информации с датчиков, которые размещаются на определенных, наиболее опасных, элементах конструкций зданий или сооружений. Беспроводные датчики дешевле в несколько раз и стоят обычно от 100 до 400 Евро каждый. Беспроводные системы мониторинга напряженно-деформированного состояния, как элементов строительных конструкций, так и в целом зданий или сооружений совместно с основанием, в РФ находятся в начальной стадии разработки.

Группа датчиков, обычно от 4 до 8 подключенная к устройству сбора данных называется сенсорным узлом. Группа сенсорных узлов образуют сенсорную сеть.

Основным компонентом системы мониторинга являются сенсорные узлы с датчиками: тензометры, акселерометры, инклинометры, перемещения, термометры. Датчики размещаются в наиболее нагруженных элементах конструкций. Места размещения определяются расчетом напряженно-деформированного состояния конструкций с использованием, например, программного комплекса ANSYS (статическое нагружение) или LS-DYNA (динамическое нагружение).

Так как датчиков может быть много, то в совокупности они образуют сенсорную сеть, в узлах которой они и располагаются. Сенсорные узлы выполняют различные задачи: собирают аналоговые сигналы с различных датчиков и превращают их в цифровой код; хранят данные с датчиков во внутренней памяти; анализируют данные в виде простых алгоритмов; посылают и получают данные с различных узлов, также как и передают их на центральное устройство (сервер) и могут работать определенное время без внешнего источника питания. Поэтому сенсорные узлы включают CPU или DSP с достаточной памятью, низкочастотный передатчик, аналого-цифровой преобразователь (ADC), источник питания, один или несколько различных типов датчиков.

Система мониторинга должна обеспечивать передачу данных с контролируемых конструкций без визуального их осмотра. Данные измерений с датчиков могут передаваться к пользователю различным путем, например, по радиоча-

стоте в 2,5 ГГц. Несколько датчиков объединяются в сеть образуя «сенсорные узлы», которые имеют источник питания и могут передавать самостоятельно сигналы только на небольшие расстояния. Поэтому на объекте устанавливается центральное устройство, которое собирает и хранит информацию в базе данных для анализа с различных узлов. Эти данные используются для оценки текущего состояния конструкций и в случае наступления критической ситуации выдается сообщение в виде сигнала тревоги. Центральное устройство должно выполнять также калибровку датчиков и обеспечивать перепрограммирование узлов датчиков сохраняя в целом систему гибкой. Центральное устройство должно иметь, как правило, компьютер с постоянным источником питания и соответствующими программами.

Применяемая веерная архитектура («втулка-спица») системы мониторинга конструкций включает удаленные датчики, связанные проводами с центральной системой сбора данных. Как правило, подобные системы, включающие сотни датчиков являются дорогостоящими.

Высокая стоимость проводных систем мониторинга является прямым результатом высокой стоимости затрат на монтажные работы и содержание системы. Затраты на монтажные работы могут составлять до 25% полной стоимости системы, при этом 75% затрат времени приходится на монтаж кабельных линий. При установке систем мониторинга на открытых объектах, таких как мосты, башни, дамбы и т.п., где проявляется значительное отрицательное воздействие окружающей среды.

Системы мониторинга строительных конструкций с использованием проводной передачи сигналов с датчиков применяются давно, примерно с середины 60 гг. прошлого столетия. Примеры применения проводной связи приведены в статье [19]. В данной работе рассматривается опыт использования МСК накопленный в ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко и приведены примеры использования системы мониторинга на большой спортивной арены в Лужниках, крытого конькобежного центра на 10 тыс. зрителей в Крылатском и ряде других объектов.

Высокая стоимость проводных систем мониторинга является прямым результатом высокой стоимости затрат на монтажные работы и содержание системы. Затраты на монтажные работы могут составлять до 25% полной стоимости системы, при этом 75% затрат времени приходится на монтаж кабельных линий. При установке систем мониторинга на открытых объектах, таких как мосты, башни, дамбы и т.п., где проявляется значительное отрицательное воздействие окружающей среды.

Системы мониторинга строительных конструкций с использованием проводной передачи сигналов с датчиков применяются давно, примерно с середины 60 гг. прошлого столетия. Примеры применения проводной связи приведены в статье [19]. В данной работе рассматривается опыт использования МСК накопленный в ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко и приведены примеры использования системы мониторинга на большой спортивной арены в Лужниках, крытого конькобежного центра на 10 тыс. зрителей в Крылатском и ряде других объектов.

Как было отмечено ранее, основной проблемой при использовании беспроводной системы МСК является периодическая подзарядка или замена источников питания. В некоторых случаях, например, большепролетные спортивные сооружения или сооружения в виде мачт, башен или опор линий электропередачи добраться до сенсорного узла и заменить источник питания достаточно сложно и трудоемко. Например, на внутренней защитной оболочке атомного реактора.

В проводных системах МСК этой проблемы нет, так как питание сенсорных узлов осуществляется от внутренней электрической сети здания с напряжением в 220 В, путем преобразования его в постоянный ток с напряжением до 12 В. Однако в этом случае необходимо включить в стоимость проекта затраты на устройство силовой сети питания сенсорных узлов и затраты на устройство слаботочной сети, по которой будет передаваться информация с сенсорных узлов на центральный сервер.

Из-за высокой стоимости затрат на оборудование и монтажные работы, применение систем мониторинга конструкций не находит широкого применения на практике. До сих пор,

только конструкции, относящиеся к критическим подвергаются мониторингу. Однако, сегодня, имеет место тенденция более широкого использования систем мониторинга вследствие возникновения новых технологий, снижающие затраты на их установку и последующую эксплуатацию. В частности, разработаны вычислительные алгоритмы, которые могут быть применены для определения существующих повреждений в конструкциях. Выражение «система мониторинга здоровья конструкций» заменила традиционное определение «системы мониторинга конструкций» и они устанавливаются для сбора данных измерений при воздействии на них окружающей среды и нагрузки (сейсмическая и ветровая) совместно с компьютером, который используется для анализа данных измерений, выявления и определения места повреждений.

Идея мониторинга строительных конструкций не является новой, так как подобного типа задачи решаются как в России, так и за рубежом. Новым является идея децентрализации обработки данных измерений напряжений и деформаций. Для решения задачи в подобной постановке необходимо разработать эффективные алгоритмы обнаружения повреждений и сенсорные узлы способные выполнять подобные решения в своей оперативной памяти.

Известные системы (Microstrain Inc., Crosbow Technology Inc.) выполняют обнаружение повреждений конструкций по принципу «сенсорный узел – центральный процессор», когда сенсорные узлы собирают информацию с датчиков и передают ее для последующей обработки на центральный сервер. На сервере выполняются все вычисления: определение физических значений измеряемых величин по полученным сигналам с датчиков; анализ измеренных значений напряжений, деформаций, частоты колебаний в различных местах конструкций; сравнение их с проектными значениями (критериальными показателями); определение текущего показателя надежности в течение всего времени эксплуатации конструкции.

Большинство вычислительных алгоритмов, которые разработаны для определения повреждений с

использованием систем мониторинга, чрезмерно большие. Современные системы мониторинга имеют излишне высокую централизацию при сборе и анализе данных измерений. Алгоритмы обнаружения повреждений, которые управляют процессом измерений, находятся в системах мониторинга в центральном сервере. Так как количество сенсорных узлов в системах мониторинга постоянно возрастает, использование централизованного сервера данных приводит к увеличению потока данных измерений и уменьшению быстродействия системы. В связи с этим, представляется целесообразным обрабатывать информацию непосредственно на сенсорных узлах, используя их внутреннюю память и соответствующие алгоритмы обработки данных измерений. В этом случае центральный сервер выполняет лишь роль координатора сенсорных узлов и оценивает работу всех конструкций зданий в едином целом по схеме: основание – фундамент – надземные конструкции.

Целесообразно большинство информации обрабатывать непосредственно на сенсорных узлах, а управление ими осуществляется сервером. Сенсорные узлы обладают способностью взаимодействовать друг с другом передавая соответствующую информацию. Подобный подход позволяет не только увеличить быстродействие всей системы мониторинга, но и существенным образом уменьшает потребление энергии с встроенного источника питания, так большая часть энергии затрачивается при передаче информации через модем. В результате срок работы сенсорного узла без замены источника питания увеличивается от 1-3 месяцев до 1 года.

Отмеченные фирмы Microstrain Inc., Crosbow Technology Inc. производят не сами системы мониторинга, а устройства для сбора сигналов с датчиков, которые по беспроводной связи передаются в компьютер. Другие фирмы выпускают датчики: термометры, тензометры, датчики давления, датчики перемещения, акселерометры. Таким образом, покупая эти устройства для целей мониторинга строительных конструкций Заказчикам необходимо разработать систему мониторинга, включающую:

1 Сенсорные узлы и центральный сервер;

2 Датчики различного типа;

3 Алгоритмы и программы как управления сенсорными узлами, так и

оценки текущего напряженно-деформированного состояния элементов конструкций зданий и сооружений.

Тип датчиков и алгоритмов зависит от конкретной решаемой задачи и будет различным в зависимости от вида зданий или сооружения, района его строительства. Например, на мостах необходимо устанавливать акселерометры для измерения частоты колебаний, а на общественных зданиях при небольшой их высоте этого можно не делать. С другой стороны, если здание находится в сейсмически активных районах, то установка акселерометров обязательна и на общественных, спортивных и иных зданиях.

Таким образом, каждый раз приходится решать новую задачу как привязать систему мониторинга к данному типу конструкций зданий и сооружений, а в некоторых случаях и их оснований.

Мы предлагаем создать измерительную систему, состоящую из отмеченных выше компонент, которая будет решать поставленную задачу. Фактически предлагаемая измерительная система это и есть система мониторинга, но привязанная к конкретному зданию или сооружению.

После создания подобной системы возникает вторая задача, задача монтажа оборудования, который должна выполнять специализированная организация, имеющая лицензию на производство данного вида работ. Эту работу может выполнить одна из организаций, входящая в состав СРО НП «Союзатом-проект».

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. РД ЭО 1.1.2.99.0624-11 Мониторинг строительных конструкций атомных станций.

2. РД ЭО 1.1.2.99.0867-2012 Методика оценки технического состояния и остаточного ресурса строительных конструкций атомных станций.

3. РБ-045-08. Динамический мониторинг строительных конструкций объектов использования

атомной энергии.

4. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

5. Doebling S.W., Farrar C.R., Prime M.B. A summary review of vibration-based damage identification methods. *The Shock and Vibration Digest*, 30(2), 1998, pp. 91-105.

6. Farrar C.R. Historical Overview of Structural Health Monitoring. *Lecture Notes on Structural Health Monitoring using Statistical Pattern Recognition*. Los Alamos Dynamics, Los Alamos, NN, 2001.

7. Lynch J.P., Kenneth J.L. A Summary Review of Wireless Sensors and Networks for Structural Health Monitoring. *The Shock and Vibration Digest*, 2006. <http://svd.sagepub.com/cgi/content/abstract/38/2/91>.

8. Hines J.W., Seibert R. Technical Review of On-Line Monitoring Techniques for Performance Assessment. *State-of-the-Art*. University of Tennessee. Department of Nuclear Engineering. Vol. 1, 2006.

9. Wilkie W.K., Bryant R.G., High J.W., et al. Low-Cost Piezocomposite Actuator for Structural Control Applications. *Proceedings of the SPIE 7-th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials*. Newport Beach, CA, 2000.

10. Heung-Seop Eom., Sa Hoe Lim., Jae Hee Kim., Young H. Kim., Hak-Joon Kim., Sung-Jin Song. Development of On-Line Health Monitoring System for Pipes in Nuclear Power Plants. 2006. [www.scientific.net/KEM.321-323.441](http://www.scientific.net/KEM.321-323.441).

11. Thien A.B. Pipeline Structural Health Monitoring Using Macro-fiber Composite Active Sensors. Thesis Master of Science. University of Cincinnati, 2003.

12. Jin-Kyung Lee., Sang-Pill Lee., Joon-Hyun Lee. Study on Damage Mechanism of Pipe Using Ultrasonic Wave and Acoustic Emission Technique. 2007. [www.scientific.net/KEM.353-358.2415](http://www.scientific.net/KEM.353-358.2415).

13. Won-Geun Yi., Min-Rae Lee., Joon-Hyun Lee. A Study on Ultrasonic Testing for Nondestructive Evaluation of Thermal Fatigue Crack in Pipelines.

2006. [www.scientific.net/KEM.321-323.747](http://www.scientific.net/KEM.321-323.747).

14. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. М., 2005.

15. Живаев А.С. Мониторинг строительных конструкций. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пенза, ПГУ-АС, 2011. – 178 с.

16. Boldyrev G., D. Valeev D., Idrisov I., Krasnov G. A System for Static Monitoring of Sports Center Structures. *Proceedings of the 7th Internat. Workshop on Structural Health Monitoring*. Ed. Fu-Kuo, Stanford University, USA, 2009, Vol.1, pp. 374-382.

17. Boldyrev G.G., Zhivaev A.A. System for Static and Dynamic Monitoring and Ice Sport Arena. *Proceed. of the 8th Internat. Workshop on Structural Health Monitoring*. Ed. Fu-Kuo, Stanford University, USA, 2011, pp. 378-385.

18. Boldyrev G.G., Zhivaev A.A. Vibration Level Assessment of Nuclear Power Plant Powerhouse Hall. R. Allemang et al. (eds.), *Special Topics in Structural Dynamics, Volume 6: Proceedings of the 31st IMAC, A Conference on Structural Dynamics, 2013, Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series 43*, DOI 10.1007/978-1-4614-6546-1 34.

19. Горпинченко В.М., Егоров М.И. Мониторинг эксплуатационной пригодности особо ответственных, сложных и уникальных сооружений. *Промышленное и гражданское строительство*, № 10, 2004.



## Multi-D – комплексная система управления сооружением сложных инженерных объектов



### проектирование

Рост энергопотребления и требований к обеспечению энергетической безопасности отдельных стран повышает интерес к атомной энергетике во всем мире. Выход на мировой рынок атомной энергетике является необходимым условием развития атомной отрасли России. Для того чтобы быть конкурентоспособным на мировом рынке, необходимы не только новые технологии и проекты энергоблоков, но и обеспечение возможности их поточного строительства за минимальные сроки и с минимальными издержками. Таким образом, при строительстве такого сложного инженерного объекта, как атомная электростанция, появляется необходимость в разработке комплексной системы управления процессом сооружения.

**Автор: Угланов Дмитрий Вадимович**  
**Инженер 2-ой категории технологического отдела**  
**Бюро комплексного проектирования №4**  
**ОАО «НИАЭП»**

### Исторические факты возникновения Multi-D технологии.

Одним из ведущих игроков на мировом рынке сооружения АЭС является японская корпорация Тошиба. В процессе своей деятельности, Тошиба использует большое количество технологий и приемов (в том числе собственной разработки), которые позволяют существенно снижать как сроки строительства, так и его стоимость. Среди таких технологий можно назвать "Just in Time", "Kaizen", "6D" и многие другие.

В 2009 году по решению Концерна «Росэнергоатом» в ОАО «НИАЭП» были начаты работы по анализу мирового опыта в области технологий управления сооружением. В ходе данных работ, было заключено соглашение о сотрудничестве с корпорацией Тошиба, с целью изучения, адаптации и дальнейшего применения в России, одной из технологий компании - «6D» моделирования. Ведущие специалисты корпорации Тошиба путем проведения рабочих встреч и семинаров ознакомили специалистов ОАО «НИАЭП» с методологией технологии «6D», методами оптимизации календарно-сетевых графиков по срокам и ресурсам, а также принципами организации работ непосредственно на строительной площадке. С точки зрения методологии Тошиба, понятие «6D» образуется из следующих составляющих:

- 3D – трехмерная модель сооружаемого объекта;
- 4D – время, необходимое на его сооружение;
- 5D – физические объемы, то есть, тоннаж трубопроводов, номенклатура оборудования и т.п.;
- 6D – трудовые ресурсы, необходимые при выполнении работ.

Таким образом, оперирование во взаимной связке всеми перечисленными параметрами в системе управления сооружением позволяет добиваться снижения сроков и стоимости строительства.

«Пилотным» проектом для внедрения технологии «6D» в период с 2009 по 2011 стал энергоблок №3 Ростовской АЭС. В процессе разработки модели сооружения и применения «6D» технологии на «пилотном» проекте расширился круг охватываемых задач, и соответственно в технологии были внедрены дополнительные параметры управления сооружением, такие как сметная стоимость строительства, работы машин и механизмов и т.п., что повлекло за собой смену тренда технологии с «6D» на «Multi-D», разработчиком которой стал ОАО «НИАЭП».

### Существующие (традиционные) формы планирования и контроля процесса сооружения сложных инженерных объектов.

Сложившийся к настоящему времени подход к календарно-сетевому планированию представляет собой, по сути, планирование «сверху вниз». При заключении договора на сооружение, разрабатывается график 1-го уровня, на котором отмечаются основные этапы и вехи строительства. Далее, в процессе разработки проектной документации на основе сроков, представленных на графике 1-го уровня, формируется более детальный график 2-го уровня с детализацией работ до технологической системы и отметки строительных конструкций. На основе выпущенной рабочей документации, создается оперативный график 3-го уровня, сроком на 1 год. Непосредственно на строительной площадке исполнителем работ формируются графики 4-го уровня. Основанием для их разработки являются сроки и даты из графиков верхнего уровня.

Описанная выше суть методологии календарно- сетевого планирования имеет ряд существенных ограничений:

- Невозможность для планировщика на основе использования только проектной документации спланировать последовательность монтажа оптимальным, с технологической точки зрения, образом. В результате, в процессе производства строительно-монтажных работ неизбежно возникают производственные затраты труда и времени, вплоть до частичного демонтажа ранее смонтированных конструкций.
- Задержка в поставке того или иного

оборудования или материалов часто ведет к полной остановке работ на конкретном участке. В существующей системе календарно- сетевого планирования отсутствуют инструменты как для детального планирования сроков поставки каждой единицы оборудования, так и для осуществления оперативной корректировки фронта работ для каждой бригады монтажников

- анализ выполнения работ ведется по суммарному тоннажу смонтированных конструкций и базовой стоимости работ, с ежемесячным подведением итогов (т.н. тематическое планирование), что не позволяет в полной мере представить фактическое состояние стройки, как продвигаются строительно-монтажные работы на том или ином участке работ и провести компенсирующие мероприятия в случае необходимости

Эти и другие ограничения сложившихся принципов планирования существенно влияют на точность и качество управления строительством, что в свою очередь ведет к увеличению сроков и стоимости производства работ.

Технология управления строительством «6D», применяемая в корпорации Тошиба основана на принципах планирования «снизу вверх», то есть сначала рассчитывается длительность производства каждой конкретной работы, затем эти длительности суммируются, и на выходе определяется срок и стоимость сооружения всего объекта. Принцип планирования «снизу вверх» используется и в технологии Multi-D.

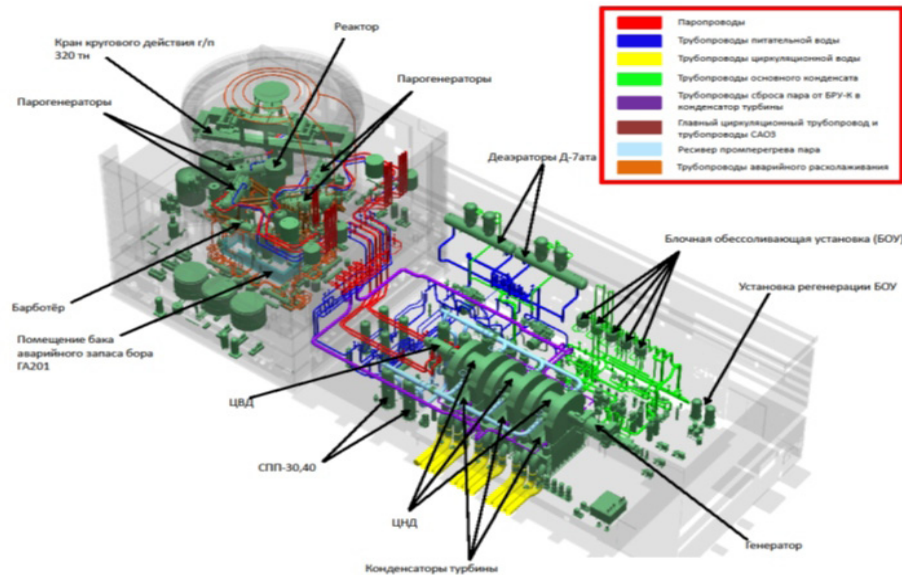


Рис.1 Трехмерная модель энергоблока АЭС

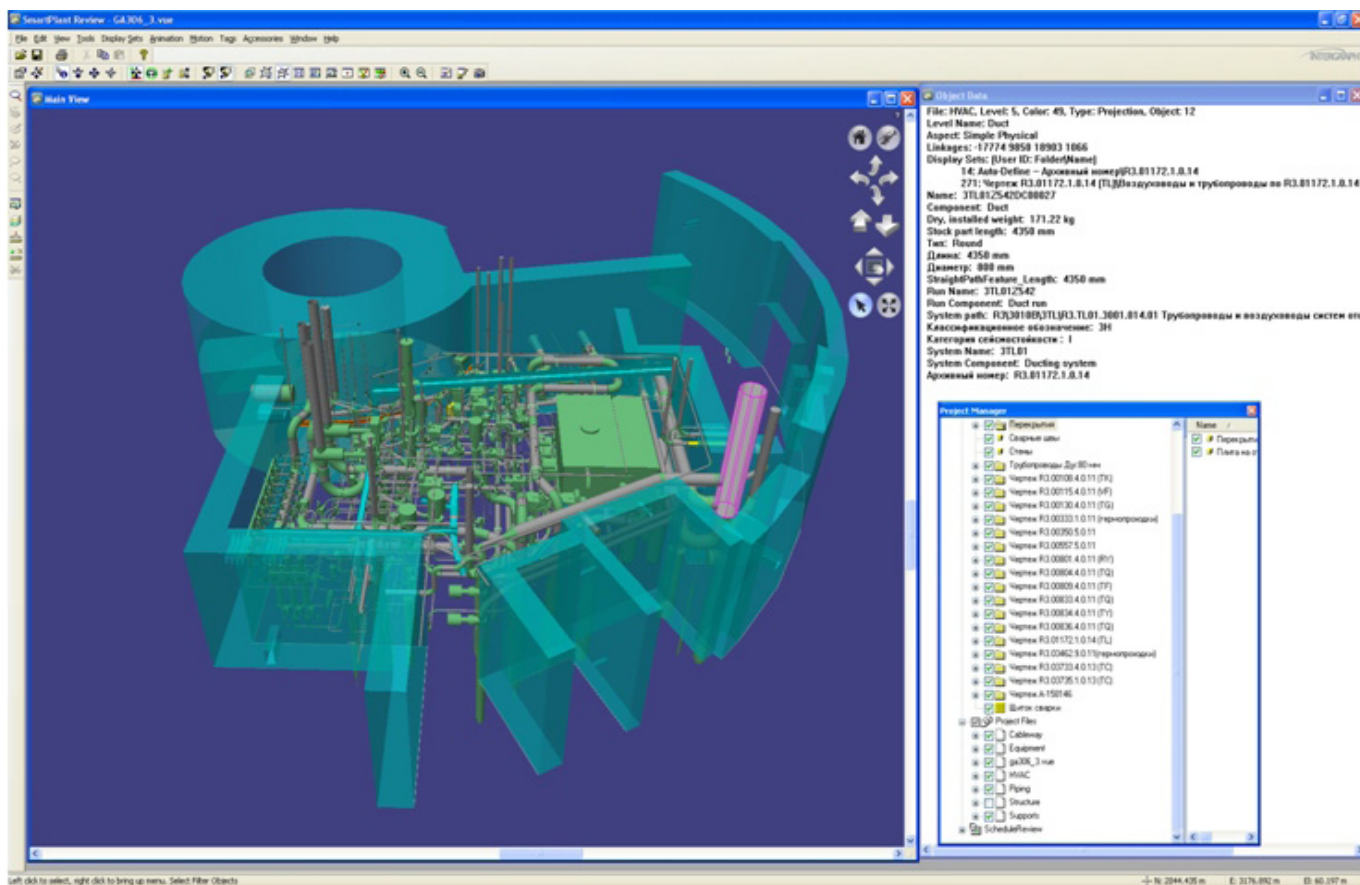


Рис.2 – Информационная модель монтажного бокса

Технология управления сооружением Multi-D используется для решения следующих основных задач управления строительством:

1. Оптимизация последовательности выполнения строительно-монтажных работ
2. Оптимизация численности трудовых ресурсов, машин и механизмов, используемых в процессе монтажа
3. Сокращение общей стоимости строительства

В рамках технологии Multi-D поставленные задачи решаются с помощью следующих подходов и инструментов:

- Использование трехмерной модели сооружаемого объекта в процессе планирования. Трехмерная модель позволяет оценить наполнение оборудования и трубопроводами каждой монтажной зоны и определить оптимальную последовательность монтажа всех элементов задолго до начала монтажных работ непосредственно на строительной площадке. Также использование трехмерной модели позволяет вести планирование с очень высокой степенью детализации (вплоть до монтажного сварного стыка в технологической части и конструкции на отметке в строительной части). Такая детализация позволяет точно определить срок, когда каждый монтируемый элемент

должен прибыть на склад, вести поэлементный учет выполненных работ. Фрагмент трехмерной модели Ростовской АЭС блок №3 приведен на рисунке 1.

- Определение длительности монтажа для каждого элемента

Важнейшим этапом разработки Multi-D модели является определение нормы времени на монтаж каждого элемента трехмерной модели. В соответствии с подобранной нормой времени для каждого элемента трехмерной модели определяются трудозатраты и стоимость работ. В качестве базы норм для пилотного проекта Ростов 3 использовались российские сметные нормативы: ГЭСН, ФЕР, ЕНиР. При разработке Multi-D моделей для зарубежных проектов, возможно использование местных нормативных документов. Сочетание поэлементного нормирования и принципа планирования «снизу вверх» позволяет обеспечить доказуемость сроков, полученных при разработке Multi-D модели, что особенно актуально для новых проектов, для которых отсутствуют фактические данные по срокам строительства (например, проект ВВЭР-ТОИ, для которого с помощью Multi-D было выполнено обоснование срока сооружения энергоблока за 48 месяцев).

Использование инструментов визуализации в процессе планирования

Одним из основных требований к про-

граммному обеспечению, используемому для Multi-D моделирования является возможность связать разработанный календарно-сетевой график и трехмерную модель сооружаемого объекта. Такая связь позволяет визуализировать процесс возведения, оценить пространственно-временные коллизии, возникающие при производстве строительно-монтажных работ. Программным обеспечением, используемым в ОАО НИАЭП для разработки Multi-D моделей является SmartPlant Review и SmartPlant Construction (производитель Intergraph) для моделирования технологической части и Delmia Process Engineer (производитель Dassault Systemes) для строительной части.

-Применение принципов побоксового монтажа

В настоящее время применяется узловой метод монтажа, т.е. работы выполняются по узлу (по отдельному чертежу), и если конструктивно узел размещается на нескольких высотных отметках или в разных помещениях (разнесенных территориально), то и работы выполняются сначала в одном помещении, затем в следующем и т.д.,



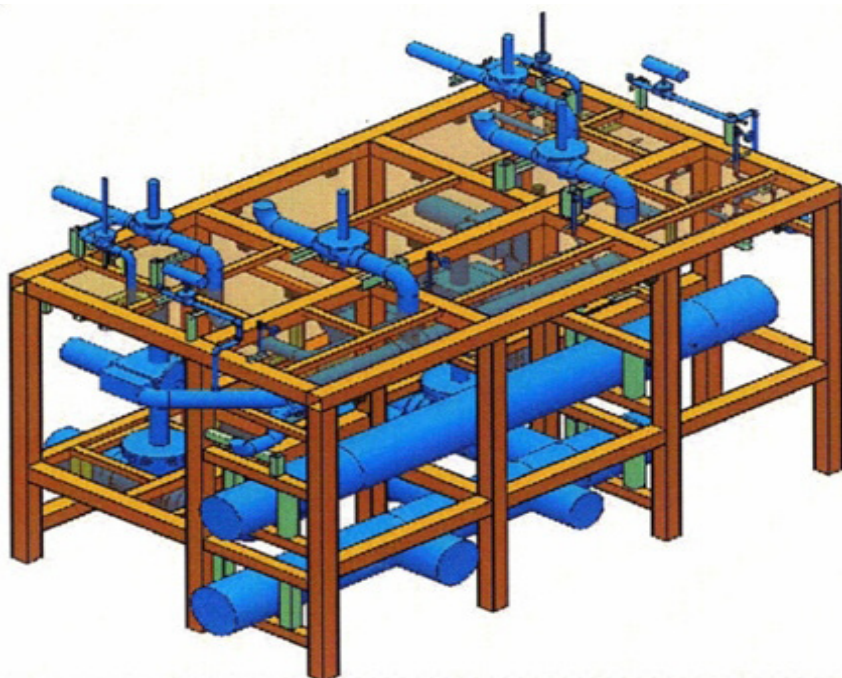


Рис.3 Трубопроводный модуль

что увеличивает затраты на передислокацию персонала, перенастройку оборудования и инструмента и т.п. Такой подход значительно увеличивает время проведения работ за счет постоянной передислокации бригады (необходимость часто перенастраивать сварочное оборудование, монтировать леса и подмости и т.п.). Побоксовый монтаж подразумевает выполнение всего объема работ в пределах выделенной монтажной зоны (бокса), относящихся к различным специализациям и системам, но находящихся в одном помещении (боксе). Внедрение побоксового монтажа позволит снизить непроизводительные потери времени и облегчает управление и контроль трудовыми ресурсами. Информационная модель монтажного бокса представлена на рисунке 2.

**Применение технологии Open Top**  
Технология Open Top подразумевает заброску крупногабаритного оборудования и трубопроводных модулей краном на место монтажа до установки перекрытия. Данная технология широко применяется компании Тошиба и позволяет экономить большое количество времени, трудовых и машинных ресурсов за счет сокращения такелажных работ на этапе основного монтажа. В процессе создания Multi-D модели анализируется доступность тех или иных кранов в каждый момент времени с целью применения указанного принципа.

-Применение укрупненных трубопроводных модулей

Трубопроводный модуль представляет собой законченную конструкцию, объединяющую в себя элементы различных технологических систем, находящихся рядом друг с другом и опорный металлический каркас. Укрупнение в модуль осуществляется в случаях особенно высокой плотности трубопроводов в конкретном помещении, что серьезно затрудняет процесс монтажа на месте. Трубопроводный модуль изготавливается на участке предварительной сборки и закидывается в помещение краном с использованием технологии Open Top. Использование трехмерной модели позволяет определить участки с высокой плотностью трубопроводов и заложить решения по укрупнению в Multi-D модель. Пример укрупнения трубопроводов в модуль представлен на рисунке 3.

- Полевой инжиниринг и недельно-суточное планирование

Технология полевого инжиниринга позволяет обеспечить выполнение заложенных в Multi-D модель решений непосредственно на строительной площадке. Полевой инжиниринг включает в себя систему выдачи и контроля недельно-суточных заданий подрядчикам и обратную связь от исполнителей работ для корректировки разработанных графиков и накопления опыта. Каждая подрядная организация еженедельно получает набор заданий, где подробно описывается предстоящий ей объем работ. По факту выполнения зада-

ния, подрядчик заполняет соответствующий отчет, данные из которого фиксируются в календарно-сетевом графике. При невозможности выполнения задания, подрядчик совместно с подразделением, занимающимся планированием, разрабатывает компенсирующие мероприятия. Таким образом, совместно с исполнителями работ выявляются проблемы в разработанном календарно-сетевом графике и формируется база знаний, позволяющая избегать подобных проблем при строительстве последующих объектов.

Технология Multi-D объединяя в себе все вышеперечисленные принципы позволяет формировать гибкие сценарии монтажного процесса.

Последовательность создания Multi-D модели

Исходными данными для моделирования является информационная трехмерная модель сооружаемого объекта. Такая модель разрабатывается в проектных подразделениях с помощью специализированных СА-Пров и передается в подразделение, занимающееся Multi-D моделированием. Атрибутивная информация, содержащаяся в модели анализируется и обрабатывается с целью проведения нормирования.

Нормирование – это процесс присвоения каждому монтажному элементу трехмерной модели номера соответствующей ему расценки из нормативного справочника. При создании Multi-D моделей для проектов Ростов-3 и ВВЭР-ТОИ в ОАО «НИАЭП» в качестве базы данных нормирования использовались справочники ГЭСН, ФЕР и ЕНиР. По номеру расценки становится возможным определить норму времени (и, соответственно, трудозатраты на монтаж каждого элемента), а также стоимость выполнения работ данного типа. Таким образом, в результате нормирования, для каждого элемента трехмерной модели определяется трудозатраты и стоимость монтажа.

На основе атрибутивной информации, полученной из трехмерной модели, а также трудозатрат и стоимости выполнения работ формируется календарно-сетевой график сооружения. В качестве программного обеспечения для этих целей в ОАО «НИАЭП» используется Primavera. В процессе создания графика на каждый монтируемый элемент назначаются трудовые ресурсы, машины и механизмы, что позволяет определить длительность, даты старта и финиша для каждой работы.

Программное обеспечение, используемое в процессе Multi-D моделирования позволяет связывать трехмерную модель и разрабатываемый график сооружения. Таким образом, планировщик, выстраивая последовательность монтажа имеет возможность визуально оценить принятые им решения, разрешить возникающие коллизии, оптимизировать численность персонала и механизмов.

По окончании работ по планированию, формируется Multi-D проект, представляющий собой комплект следующей документации:

- календарно-сетевой график сооружения объекта, включая гистограммы распределения ресурсов;
- трехмерная модель объекта, связанная с графиком производства работ и позволяющая увидеть визуализацию процесса сооружения;
- поясняющие материалы, в том числе, подробные спецификации оборудования и материалов и обоснование расчета длительности работ.

Данный комплект документации передается на строительную площадку, где подразделения, занимающиеся полевым инжинирингом создают на его основе недельно-суточные задания, актуализируют разработанный график и осуществляют обратную связь с исполнителями работ.

К настоящему моменту, полностью закончена Multi-D модель для энергоблока №3 Ростовской АЭС. Было проработано 254 монтажных бокса в реакторном отделении и 18 монтажных зон в машинном зале. Проекты по отдельным боксам и зонам были собраны в общий календарно-сетевой график строительства.

Активно идет внедрение полевого инжиниринга непосредственно на строительной площадке. Например, в связи с задержкой поставки корпуса реактора, была проработана модель размещения блоков ГЦТ в гермообъеме до установки корпуса, что позволяет начать монтаж парогенераторов, сокращая потери времени в связи с образовавшейся задержкой.

Для проекта ВВЭР-ТОИ с помощью Multi-D модели было выполнено обоснование возможности сооружения энергоблока за 48 месяцев. В качестве исходных данных использовалась трехмерная модель стадии Проект, разработанная в ОАО "Атомэнергопроект".

В 2012 году было налажено единое

информационное пространство с ОАО "СПбАЭП", что позволяет начать разработку Multi-D модели для Балтийской АЭС и Белорусской АЭС. Кроме того, планируется применение технологии Multi-D при строительстве Нижегородской АЭС, Курской АЭС, АЭС Аккую в Турции. Таким образом, технология Multi-D может применяться при сооружении всех будущих энергоблоков, как на территории России, так и за рубежом.

Пути совершенствования технологии. Применение принципов Multi-D моделирования предъявляет очень жесткие требования к составу и наполнению проектной трехмерной модели. Необходимо внесение дополнительной атрибутивной информации в модель, избыточной с точки зрения традиционного выпуска рабочей документации, но необходимой для определения нормы времени и трудозатрат. Это ведет к необходимости изменения регламентов, определяющих порядок проектирования.

Если к настоящему времени в трех основных проектных институтах атомной отрасли для проектирования технологической части проекта используется одинаковое программное обеспечение – SmartPlant 3D в рамках пакета SmartPlant Enterprise от американской компании Intergraph, то в отношении строительной части такого единства нет. В ОАО "Атомэнергопроект" для этих целей применяется ПО Tekla, в ОАО "СПбАЭП" строительная часть проектируется в ПО Bentley Speedikon, а ОАО "НИАЭП" применяет Catia от Dassault Systems. Таким образом, при создании единого информационного пространства между АЭП-ами на первый план встает вопрос о взаимной интеграции этих программных решений. На данный момент единого интеграционного решения, позволяющего без потерь передавать данных между этими тремя программными продуктами и SP3D нет.

Другой важнейшей проблемой при разработке Multi-D моделей является отсутствие на данный момент полноценного коммерческого ПО для проведения моделирования. К настоящему времени

ни один вендор программных продуктов не может предложить решения, полностью удовлетворяющее принципам Multi-D технологии. Такое положение дел приводит к необходимости доработки существующего ПО под нужды Multi-D. Одной из задач, решаемых в рамках проекта ВВЭР-ТОИ, являлось создание единой среды моделирования. Были заключены договоры с компаниями Intergraph и Dassault Systemes о развитии возможностей программных продуктов SP Review, SP Construction и Delmia Process Engineer. К настоящему моменту большая часть доработок была выполнена и система Multi-D моделирования на базе решений Dassault и Intergraph успешно сдана в опытно-промышленную эксплуатацию. Но тем не менее, в процессе эксплуатации постоянно возникают новые требования к ПО и поэтому создание единой среды для моделирования к настоящему времени нельзя считать законченным.

Полноценное решение задач управления строительством на базе технологии Multi-D невозможно без тесной взаимосвязи разрабатываемых календарно-сетевых графиков и службы управления закупками и поставками оборудования и материалов. Проще говоря, на базе разработанной Multi-D модели должен рождаться график поставки оборудования и материалов на строительную площадку и график их закупки. В ОАО НИАЭП в настоящее время система, обеспечивающая такую связь проходит промышленно-опытную эксплуатацию. Данная система обеспечивает автоматическую передачу проектной потребности из проектирующих САПР-ов в службу управления закупками, при этом сроки, в которые оборудование должно быть поставлено на строительную площадку поступают из Multi-D модели.

Таким образом, подводя итоги, можно сказать, что технология Multi-D – это современная система управления сооружением сложных инженерных объектов. Применение этой технологии позволяет сокращать сроки и стоимость процесса строительства. Данная система постоянно совершенствуется и ее развитие может обеспечивать конкурентоспособность атомных станций российского производства на мировом рынке.



## Сейсмическое районирование района строительства Бушерской атомной электростанции в Иране

Рогожин Е.А, Арефьев С.С., Институт физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН, Москва

Площадка Бушерской атомной электростанции (БАЭС) располагается на берегу Персидского залива на Прибрежной аллювиальной равнине юго-западного Ирана в непосредственной близости (40 км) от “фронта гор” складчатой системы хребта Загрос. Территория характеризуется довольно высоким уровнем сейсмической опасности. В статье рассмотрены результаты работ по оценке сейсмических воздействий типа детального сейсмического районирования (ДСР), проведенных в 1999-2001 гг. при проектировании завершения строительства этого особо ответственного объекта.

### Сейсмические проявления юго-западного Ирана

Загрос относится к одному из наиболее сейсмоактивных районов мира. Сейсмичность в его пределах сосредоточена в районе развития специфической загросской складчатости альпийского этапа и затухает как в районе ее северо-восточного ограничения – Главного Загросского надвига, так и по юго-западной границе, в зоне перехода складчатого пояса к стабильной Аравийской плите. Магнитуды наиболее сильных зарегистрированных землетрясений Загроса немного превышают 7 (Гирское землетрясение 10 апреля 1972 г., Хургу, 21 марта 1977 г.). Однако землетрясения подобной силы происходят достаточно редко и поэтому, несмотря на высокую сейсмическую активность, рассматриваемый регион относится к областям умеренной по силе землетрясений сейсмичности. В то же время землетрясения умеренных и малых магнитуд возникают здесь практически повсеместно и во времени регулярно. Поэтому проведение ДСР при строительстве БАЭС является актуальной задачей. В ходе выполнения этих исследований осуществлялись сейсмологические наблюдения за ходом фоновой сейсмичности сеть временных и стационарных сейсмических станций в течение периода более двух лет. Эпицентры зарегистрированных землетрясений имеют явную структурную приуроченность (рис. 1).

### Геодинамическая и сеймотектоническая модели региона

На территории региона размещения БАЭС (в круге радиусом около 300 км) выделяются геодинамические провинции Загроса, Аравийской платформы в рамках Предгорной низменности (Предзагросского передового прогиба) и акватории Персидского залива. Провинция Загрос распадается на три субпровинции - Фарс, Дезфул и Казерун-Боразджанскую, в пределах которых обозначены геодинамические зоны в соответствии с делением по степени и возрасту складчатых и разрывных деформаций. В субпровинции

Фарс разделяются зоны (с севера на юг): Главного взброса, Чешуйчатых деформаций, Складчатых деформаций, умеренной складчатости. В субпровинции Дезфул выделяются те же зоны, но имеющие иную, меньшую ширину и более значительные характеристики складчатых деформаций. На границе между указанными субпровинциями располагается особая Казерунско-Боразджанская меридионально ориентированная субпровинция, которая также расчленена на северную зону Чешуйчатых деформаций, центральную зону - Казерунско-го сдвига и южную зону Боразджанской флексуры.

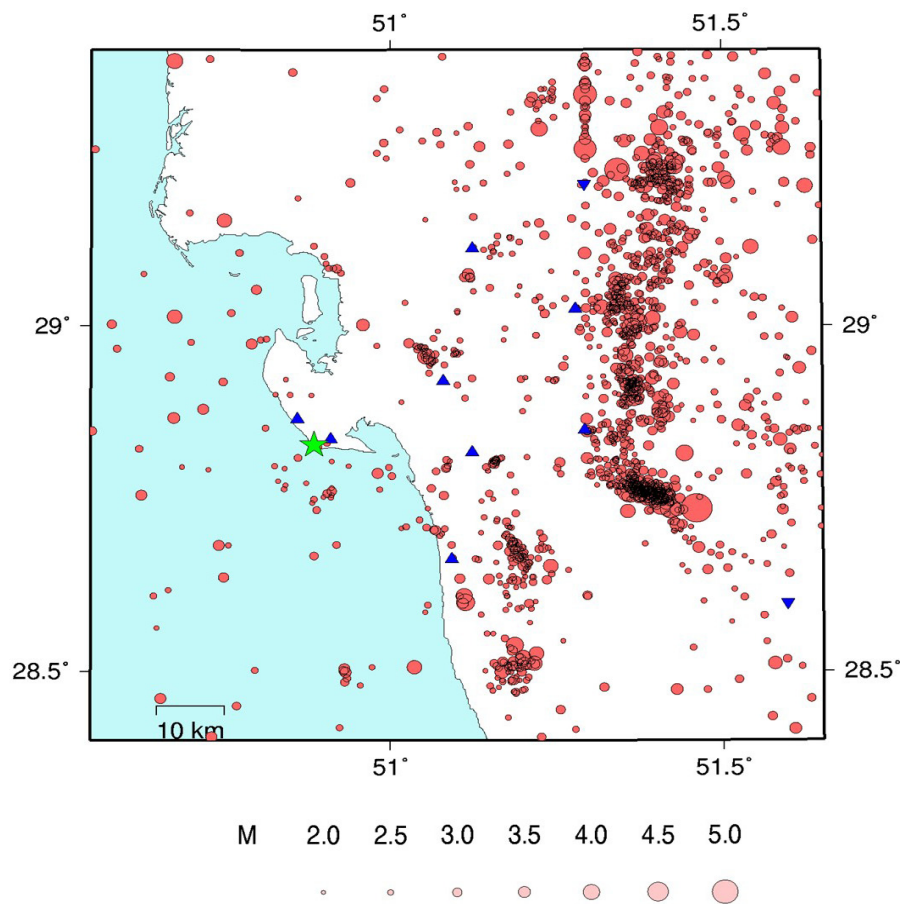


Рис. 1: Карта эпицентров представительных сейсмических событий ( $M \leq 2.25$ ). В пределах площади зарегистрировано 1555 землетрясений. Синие треугольники – временные сейсмические станции, зеленой звездой показано положение БАЭС.

Провинция Аравийской платформы распадается в свою очередь на северо-восточную часть - субпровинцию Предзагорского передового прогиба (или Предгорной Бушер-Боразджанской низменности) и юго-западную провинцию погруженного края платформы в акватории Персидского залива.

Все эти геодинамические провинции, субпровинции и зоны различаются характеристиками складчато-разломных и орогенных деформаций.

Разделяются они и по характеристикам сейсмического режима. Сводная оценка сейсмического потенциала по сейсмологическим и геологическим данным позволяет оценить уровень максимальных магнитуд для каждого из этих геодинамических подразделений и проинтерпретировать их в качестве сеймотектонических структур.

Анализ закономерностей распределения землетрясений в регионе БАЭС позволяет выявить, что существует очень четкий структурный контроль в локациях сейсмических очагов с разной глубиной гипоцентров и разным фокальным механизмом. Так, в зонах меридионально простирающихся Казерунского, Карехбасского и Сарвестанского разломов, Боразджанской флексурно-разрывной

зоны, а также в приразломной антиклинали Кух-е-Манд регистрируются толчки с гипоцентрами более 21 км, что говорит об их проникновении в кристаллический фундамент. В то же время на обширных территориях субпровинций Дезфул и Фарс глубина толчков значительно меньше 20 км, то есть гипоцентры толчков фоновой сейсмичности располагаются в основном в породах осадочного чехла. Таким образом, крупные меридиональные разломы, флексуры и складки контролируют более глубоководную, частую и сильную сейсмичность и представляют наибольшую сейсмическую опасность для площадки БАЭС. Эти нарушения характеризуются праводвиговой или взбросо-сдвиговой кинематикой и уверенно регистрируемой современной сейсмичностью.

#### Сейсмогенерирующие зоны и их сейсмический потенциал

Для того, чтобы выделить конкретные сейсмогенерирующие зоны (или зоны возникновения ожидаемых землетрясений - ВОЗ), наиболее опасные для БАЭС, необходимо в пределах описанных выше субпровинций и сеймотектонических зон выявить конкретные структуры: разломы, надразломные и приразломные складки, флексуры,

блоки земной коры, демонстрирующие современную геологическую и сейсмическую активность. В результате проведения полевых геолого-геоморфологических исследований, геофизических и сейсмологических наблюдений в ближнем регионе БАЭС и интерпретации имеющихся фондовых и архивных данных можно выделить для территории региона размещения БАЭС (в радиусе 40 км) зоны ВОЗ, отображенные на рис. 2). Из выделенных зон ВОЗ наиболее опасными для площадки БАЭС являются располагающиеся в пределах ближнего региона Бушерская, Кух-е-Мандская и Делвар-Ахрамская (рис. 2). Землетрясения в них, как уже говорилось выше, характеризуются сейсмическим потенциалом ( $M_{\max}$ ) = 5.5. Однако они возникают на разных глубинах и, по-видимому, с разной частотой повторяемости. Бушерская зона способна генерировать толчки, близкие по энергии к максимальной на глубинах не менее 15 км, причем происходят они, по-видимому, редко (не чаще, чем раз в 100-200 лет). Из более удаленных максимально опасна Боразджанская меридиональная зона ВОЗ, имеющая  $M_{\max}$ =7.5 (рис. 2).

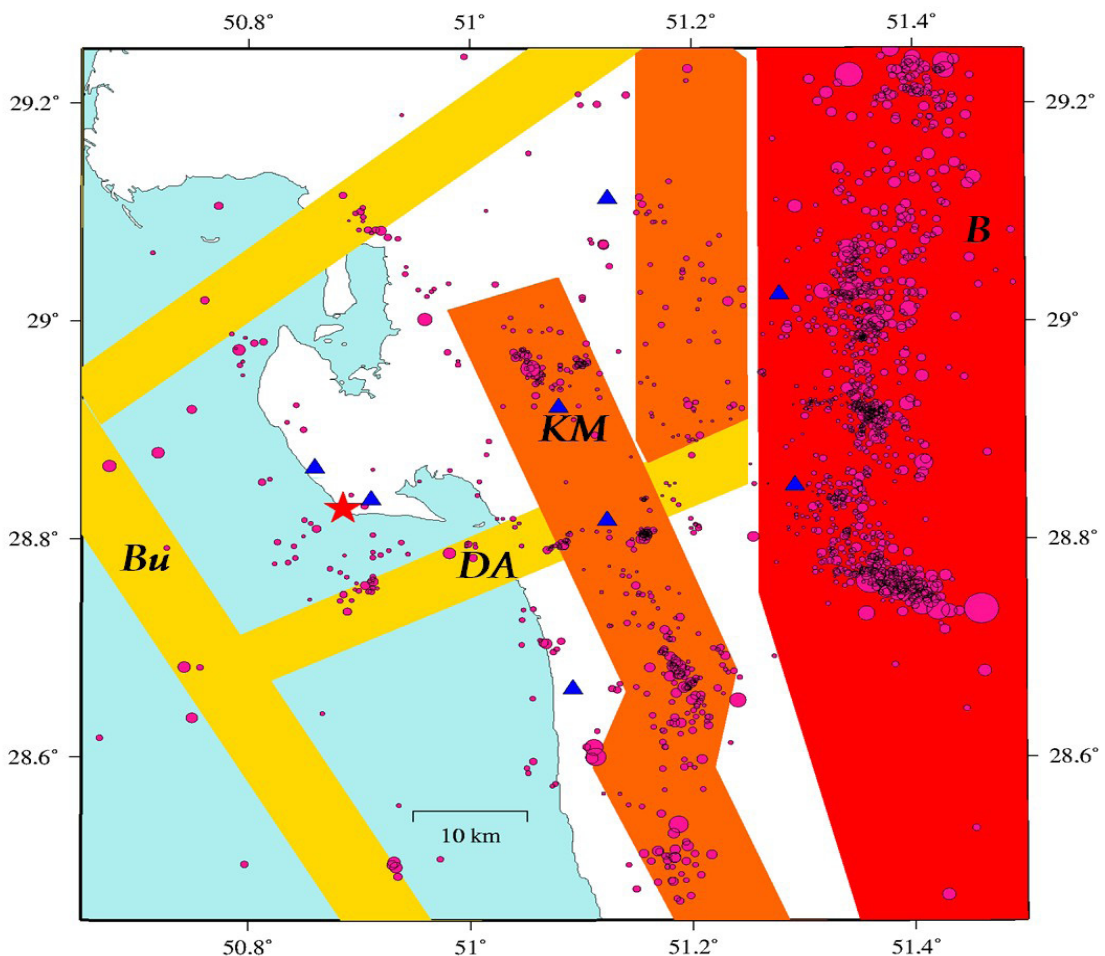


Рис. 2: Схема зон ВОЗ ближнего региона БАЭС. Треугольниками показаны сейсмостанции временной сети ИФЗ РАН. Зоны ВОЗ: Bu - Бушерская, DA - Делвар-Ахрамская, KM - Кух-е-Мандская, B - Боразджанская.



Непосредственно под Бушерским полуостровом не выделяется специальной зоны ВОЗ. В пределах этой области, где непосредственно располагается площадка БАЭС, возникают толчки с максимальной магнитудой 4.5-5.0. Ни на поверхности Бушерской антиклинали, ни в породах осадочного чехла до глубин 8 км, ни на поверхности кристаллического фундамента по геолого-геофизическим данным нет заметных разломов, подстилающих эту зону. Ряд проблематичных меридиально ориентированных линейментов, выделенных путем интерпретации аэрофотоснимков, при изучении в траншеях оказался обусловленным стратиграфическими контактами четвертичных отложений. Отсутствие на дневной поверхности, в осадочном чехле и вблизи поверхности фундамента заметных активных разломов позволяет связать возможные очаги наиболее сильных землетрясений с какими-то скрытыми в толщах фундамента неизвестными разломами или отнести их к рассеянному (дисперсному) типу сейсмичности. Поскольку поверхность фундамента под Бушерской антиклиналью лежит на глубине 10-12 км, то возможные сейсмические очаги могут располагаться еще глубже (около 15 км). В поле современной фоновой и сильной сейсмичности эта блоковая структура проявлена слабо (рис. 1).

#### Расчет сейсмических воздействий

Максимальные ожидаемые ускорения от сильнейших возможных землетрясений в выделенных сейсмотектонических подразделениях и зонах ВОЗ просчитаны на основе компьютерной программы SEISRISK-III. Максимальный сейсмический эффект от толчков, соответствующих  $M_{\max}$ , включая дисперсную сейсмичность, для площадки БАЭС оценен (с уровнем доверия 84%) в пиковых горизонтальных ускорениях силы тяжести  $PGHA=392 \text{ см/с}^2$  или  $PGHA=0.400 \text{ g}$ . Ожидаемые вертикальные ускорения грунта составляют  $PGVA=0.225 \text{ g}$ .

#### Заключение

Проведенные комплексные исследования ДСР по уточнению сейсмической опасности региона и ближнего района строительства Бушерской атомной электростанции, включающие сейсмологические, сейсмотектонические и геолого-геофизические работы, привели к следующим основным результатам. В течение двух лет проводилась регистрация землетрясений сетью временных сейсмических станций, установленных в ближней зоне площадки БАЭС. По этим и уже имевшимся ранее сейсмологическим данным составлен каталог местной сейсмичности, начиная с магнитуды 2. Разработана геодинамическая модель региона и ближнего района БАЭС, позволившая выявить и оценить ис-

точники тектонических напряжений, ответственных за возникновение сейсмических проявлений и послужившая основой для построения сейсмотектонической модели. На основании анализа собранных данных о складчатых и разрывных дислокациях региона выделены геодинамические зоны, характеризующиеся разным уровнем новейших и современных деформаций. Особо детально изучены разломы (в частности, и палеосейсмогеологическим методом – в траншеях) и оценена степень их современной геологической и сейсмической активности.

Разработана сейсмотектоническая модель региона и ближнего района БАЭС, позволившая выявить сейсмотектонические провинции, субпровинции и зоны ВОЗ, оценить их  $M_{\max}$  и получить основные характеристики, необходимые для расчета сейсмических воздействий.

На основании результатов проведения палеосейсмогеологических исследований в пределах зон ВОЗ ближнего района можно заключить, что сделанные оценки  $M_{\max}$  соответствуют реальным сейсмическим условиям изученной области и могут быть использованы при расчетах сейсмических воздействий для площадки строительства БАЭС.

#### Справка:

Учреждение Российской академии наук Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН (ИФЗ РАН) – крупнейший центр мировой и отечественной геофизики, осуществляющий широкий круг фундаментальных и прикладных исследований. Институт ведет свою историю с 1928 г. и принадлежит к числу старейших научных учреждений РАН. В нем сложились крупные научные школы по планетарной и теоретической геофизике, изучению внутреннего строения Земли геофизическими методами, сейсмологии и оценке природных рисков, геомагнетизму, физике ионосферы и магнитосферы. Институту принадлежит ведущая

роль в исследовании физических процессов в недрах Земли, разработке моделей динамики и внутреннего строения Земли, изучении сейсмичности Земли и физики очага землетрясения, сейсмрайонировании, развитии теории и компьютерных технологий интерпретации геофизических данных. Специалисты ИФЗ РАН изучают физические поля Земли, вопросы палеомагнетизма и магнитных свойств горных пород, разрабатывают методы геофизического мониторинга для прогнозирования природных и техногенных катастроф, исследуют проблемы происхождения и ранней истории Земли.

## Общественное обсуждение Стандартов СРО атомной отрасли

Уважаемые коллеги!

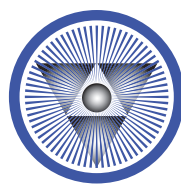
В соответствии с Соглашением №1/2757-Д от 11.07.2012г. между Госкорпорацией «Росатом» и СРО атомной отрасли по разработке, взаимному признанию и контролю исполнения нормативно-технических документов Госкорпорации «Росатом» и СРО атомной отрасли подготовлены и представлены на всеобщее обсуждение проекты нормативных документов.

Предлагаем Вам ознакомиться с проектами документов. Присылать свои замечания и предложения вы можете до 01 ноября 2013 на e-mail: [technorm@atomsro.ru](mailto:technorm@atomsro.ru) по приложенной форме сводки замечаний.

Перечень нормативно-технических документов, вынесенных на общественное обсуждение и форму сводки замечаний можно скачать на главной странице портала [www.AtomSRO.ru](http://www.AtomSRO.ru) в разделе [«НОВОСТИ»](#)

Центр технических компетенций атомной отрасли

№ 15 август-сентябрь 2013



# **АТОМНОЕ** **строительство**