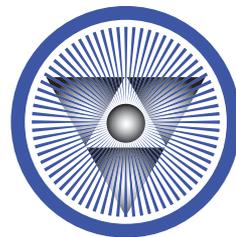


Электронный журнал



АТОМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Корпоративное издание саморегулируемых
организаций атомной отрасли

№ 17

февраль-март

2014

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

ТЕМА НОМЕРА: Технологии сооружения сложных инженерных объектов



Опыт:

«История одной инновации»
Специалисты ВНИПИпромтехнологии
об опыте захоронения жидких радио-
активных отходов в СССР стр. 4

Строительство:

Технологии дискретного армирования
в строительстве и ее применение при
сооружении атомных электрических
станций стр. 18

Проектирование:

ОАО «Группа Е4»:
Внедрение технологии трехмерного
проектирования AVEVA Global PDMS
(КЭДО-PDMS) стр. 32

АТОМНОЕ строительство

Редакционный совет:

Опекунов В.С. – председатель

Денисов В.А.

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

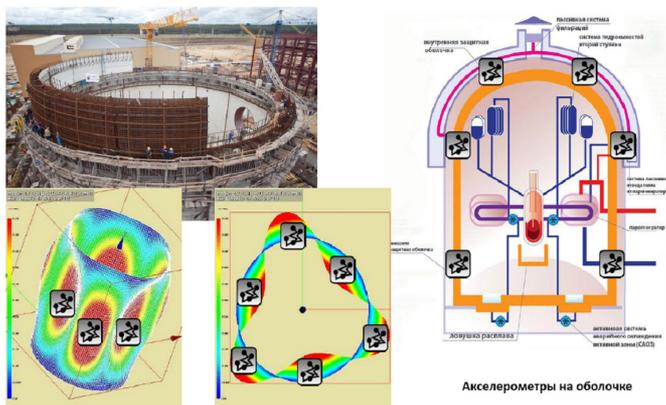
E-mail: pressa@atomsro.ru

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.

Читайте в номере:



Первая собственная форма колебаний

Акселерометры на оболочке

Мониторинг технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений



Внедрение технологии трехмерного проектирования, КЭДО-PDSM

АТОМНОЕ строительство

Опыт

04

История одной инновации - Эта инновация случилась не ради самой инновации – найти чего-то новое, применить, рапортовать и этим отличиться, а для предотвращения вреда человеку, животным и растительности, причиной которого могли стать радиоактивные отходы. Работы по захоронению радиоактивных отходов в глубокие геологические горизонты были начаты во второй половине 50-х годов в связи с необходимостью принятия срочных мер по предотвращению воздействия РАО предприятий оборонного комплекса на окружающую среду и население.



Балаковская АЭС 5 энергоблок. .

История

06

Немой свидетель технического прогресса

Сегодня, по прохождении десятков лет после временного моратория на строительство АЭС в России можно смело признать историческим факт создания скоростного поточно-строительного конвейера возведения главных корпусов АЭС с ВВЭР-1000.

Этот метод сооружения был задуман, теоретически подготовлен и практически осуществлён на строительстве четырёх энергоблоков Балаковской АЭС.

Речь в данной статье идёт об отдельной теме: Укрупнение строительных элементов зданий непосредственно на строительной площадке под необходимую грузоподъёмность кранов.

Признаки этого метода проявлялись постепенно с момента возникновения строительной отрасли.

Строительство

10

Повышение устойчивости и несущей способности основания сооружений АЭС

Переход от конструктивной схемы к конечно-элементной модели осуществляется путем замены реальных конструкций расчётными элементами. Для создания конечно-элементной модели системы «сооружение-основание» применяются пружинно-демпферные, стержневые, оболочечные элементы. Пружинно-демпферный элемент имеет продольные или крутильные свойства, что позволяет его применять в одномерных, двухмерных или трёхмерных задачах. Опция продольного упругого демпфера формирует одноосный элемент, воспринимающий растяжение и сжатие, имеющий до трёх степеней свободы в каждом узле - перемещения в направлении осей x , y и z узловой системы координат. Свойства изгиба и кручения отсутствуют.

Технологии

18

Технология дискретного армирования и ее применение при сооружении АЭС

Статья посвящена развитию Технологии дискретного армирования (ТДА), разработанной в ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», в которой мы подробнее остановимся на экономических аспектах.

Технико – экономические показатели нашей технологии следующие:

- Трудозатраты при устройстве монолитных фундаментных плит и плит перекрытий снижаются от 18 до 30% в зависимости от конструктивных особенностей объектов.
- Сметная стоимость устройства монолитных фундаментных плит и плит перекрытия сокращается от 17 до 30%

Проектирование

32

Сейсмическое районирование района Бушерской АЭС

Внедрение технологии трехмерного проектирования, КЭДО-PDSM на примере предприятия ОАО «Группа Е4» Внедрение многих систем трехмерного проектирования в российскую практику были затруднены серьезными несоответствиями заложенной в них структуры модели.

ИСТОРИЯ ОДНОЙ ИННОВАЦИИ

Специалисты ОАО «ВНИПИпромтехнологии» об истории и технологии захоронения жидких радиоактивных отходов в СССР

Пименов М.К., Рыбальченко А.И., Курочкин В.М.

Эта инновация случилась не ради самой инновации – найти чего-то новое, применить, рапортовать и этим отличаться, а для предотвращения вреда человеку, животным и растительности, причиной которого могли стать радиоактивные отходы.

Работы по захоронению радиоактивных отходов в глубокие геологические горизонты были начаты во второй половине 50-х годов в связи с необходимостью принятия срочных мер по предотвращению воздействия РАО предприятий оборонного комплекса на окружающую среду и население. Решением Совмина СССР к решению проблемы были привлечены проектные и научно-исследовательские организации Министерства Среднего машиностроения, Академии наук СССР, Министерства геологии СССР. Геологоразведочные работы были выполнены геологами, Институтом ОАО «ВНИПИпромтехнологии» были выполнены расчёты и проектирование схем и конструкций основных сооружений, гидродинамические расчёты и обоснования безопасности захоронения, совместно с ГИ ВНИПИЭТ проектирование полигонов захоронения жидких радиоактивных отходов. Институт физической химии и электрохимии РАН выполнял исследование отходов, которые предполагалось направлять на захоронение, взаимодействие отходов с породами глубоких горизонтов, разрабатывал технологии подготовки отходов к захоронению.

Геологоразведочные работы были начаты в районе Сибирского химического комбината – СХК (г. Северск, Томской области) геологической партией, срочно переброшенной по реке Томь со среднего Приобья, где проводились работы по разведке нефтяных месторождений. В последующем все работы по разведке участков для захоронения отходов проводило ФГУГП «Гидроспецгеология». По результатам геологоразведочных работ была установлена пригодность участка для закачки отходов СХК. В разрезе были выделены песчаные пласты-коллекторы, обладающие необходимыми емкостными свойствами для локализации отходов,

изолированные сверху слоями глинистых пород. Был разработан проект экспериментального полигона и 8 июля 1963 г впервые в мировой практике обращения с радиоактивными отходами была начата закачка отходов среднего уровня активности из открытого бассейна-хранилища, уже переполнявшегося в тот период времени.

Геологоразведочные работы были начаты также в районе Горно-химического комбината (Железногорск, Красноярского края) и Научно-исследовательского института атомных реакторов (Дмитровград Ульяновской области). Были получены положительные результаты, осуществлено обоснование безопасности захоронения, проектирование и строительство полигонов. На ГХК эксплуатация полигона осуществляется с 1967 г (I горизонт) и с 1969 г. (II горизонт), на НИИАР опытная закачка в скважину Р-3 была начата в 1966г. Геологическое строение полигона ГХК сходно с полигонами СХК, на НИИАР для закачки низко- и среднеактивных отходов используются горизонты песчаных и карбонатных пород, залегающие на глубинах более 1000 м и содержащие высокоминерализованные воды.

Все принципиальные решения по проек-

тированию захоронения отходов экспериментировались на секциях НТС и в Управлении капитального строительства Минсредмаша, Мин-здравом СССР.

Первоначально глубинное захоронение жидких РАО рассматривалась как временная мера на срок до 15 лет, когда должны быть разработаны и внедрены технологии отверждения ЖРО и их захоронения в виде ТРО. Однако трудности решения этой проблемы потребовали продолжения эксплуатации полигонов в течение длительных периодов времени.

По заданиям предприятий и поручениям Минсредмаша были разработаны технологии захоронения новых типов отходов СХК и ГХК, не предусмотренных первоначальными проектами: высокоактивных и среднеактивных отходов – отработавших экстрагентов, что потребовало проведение дополнительных исследований и обоснований.

Наиболее сложным было обосновать возможность захоронения высокоактивных отходов из-за их разогрева в результате поглощения энергии радиоактивного распада.

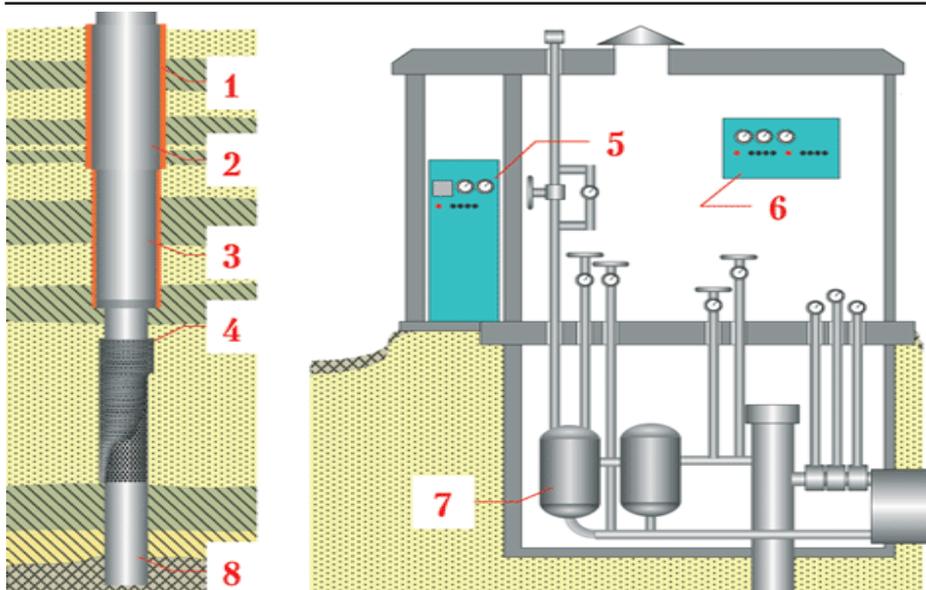


Фото: www.atomic-energy.ru

Конструкция нагнетательной скважины для захоронения отходов: а) подземная часть, б) наземная часть
1. Затрубная цементация. 2. Кондуктор. 3. Эксплуатационная колонна. 4. Фильтр. 5. Пульт управления. 6. Аппаратура КИПиА. 7. Фильтр Фортокс. 8. Отстойник.

Хранение этих отходов в поверхностных сооружениях – емкостях требовало их постоянного охлаждения, а повреждение емкостей или отказы систем охлаждения могли привести к взрывам, аналогичному произошедшему на Южном Урале на предприятии Маяк в 1957 г.

Захоронение высокоактивных ЖРО впервые было осуществлено на ГХК в 1972 г. и на СХК в 1975 г. и осуществлялось до 2011г. В 1987 г. группе сотрудников ВНИПИПромтехнологии, ИФХЭ РАН, СХК, ГХК, НИИАР, ФГУП «Гидроспегеология» была присуждена премия Совета Министров СССР за разработку и внедрение технологии захоронения высокоактивных отходов.

Результаты создания и эксплуатации объектов захоронения жидких радиоактивных отходов были использованы для проектирования и строительства полигонов захоронения жидких отходов (промстоков) предприятий атомной промышленности, не содержащих радиоактивных веществ или содержащих их в количествах, ниже отнесения промстоков к радиоактивным. Это Кирово-Чепецкий химкомбинат (1987 г.), Чепецкий механический завод (1992 г.), Калининская атомная станция (2007 г.). Были выполнены проекты полигонов захоронения промстоков предприятий химической промышленности в Нижегородской области (Дзержинск), Харьковской области, установки добычи-

возврата природных рассолов на ТЭЦ-26 г. Москвы.

В связи с завершением проектных сроков эксплуатации полигонов глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов в 90-х годах, принятием новых нормативных документов и повышением требований к безопасности и обоснованности захоронения РАО были выполнены дополнительные исследования условий захоронения отходов, включавшие изучение процессов и параметров взаимодействия компонентов отходов с породами коллекторских горизонтов, уточнены сорбционные характеристики пород, роль коллоидных форм распространения радионуклидов в поровом пространстве коллекторских горизонтов. По проектам ОАО «ВНИПИПромтехнологии» было осуществлено бурение скважин в зоны насыщения пластов-коллекторов отходами СХК. ИФХЭ РАН и СХК проведено изучение образцов, подтверждены высокие изолирующие свойства коллекторских горизонтов песчано-глинистого состава и перекрывающих их водоупорных образований.

В результате комплексных исследований и практических работ по глубинному захоронению жидких РАО в глубокие коллекторские горизонты удалено более 60 млн.м³ ЖРО. Оценить потенциальную опасность этих отходов можно из такого сравнения: общее количество радиоактивных веществ в захороненных отходах в ~40 раз превышает суммарную

активность выброса в окружающую среду при аварии на Чернобыльской АЭС.

Отходы локализованы в границах горных отводов недр, не оказывают значимого воздействия на окружающую среду и население в районах предприятий, по данным прогнозов не следует ожидать такого воздействия и в будущем. Анализ результатов эксплуатации объектов захоронения, выполненные исследования позволили установить ряд закономерностей геологической среды и протекающих в ней процессов. Казалось бы, эта технология имеет право на существование тем более, что есть предприятия, заинтересованные в её применении. В проекте закона «Об обращении с радиоактивными отходами ...», представленным Росатомом, была предусмотрена возможность создания новых пунктов захоронения средне- и низкоактивных отходов. Однако Госдума РФ, очевидно из чисто популистских соображений (особую активность проявлял руководитель ЛДПР) разрешила применять эту технологию исключительно на действующих пунктах захоронения.

В конце зададимся вопросом: можно было бы решить эту инновационную проблему также эффективно и в настоящее время? Ответ однозначен – нет.

Полигоны (пункты) глубинного захоронения ЖРО и промстоков предприятий атомной промышленности

Предприятие	Вид отходов	Глубина захоронения, м	Начало захоронения, г	Объем, удаленных отходов, млн. м ³
ОАО «Сибирский химический комбинат»	ЖРО	270 – 320 314 – 386	1963	50,0
ФГУП «Горно-химический комбинат»	ЖРО	180 – 280 355 – 500	1967	6,4
ОАО ГНЦ РФ «НИИАР»	ЖРО	1130 – 1410 1440 – 1550	1966	3,13
ОАО «Чепецкий механический завод»	Промстоки ЕРН	1435 – 1600	1992	7,3
ОАО «Кирово-Чепецкий химкомбинат»	Промстоки	1260 – 1440	1987	7,1
Калининская АЭС	Промстоки, третий	1285 – 1349	2007	0,85

Немой свидетель технического прогресса в строительстве

Своим опытом работы на площадках строительства Балаковской АЭС делится ветеран атомной отрасли Виктор Васильевич Биктимиров.

Сегодня, по прохождении десятков лет после временного моратория на строительство АЭС в России можно смело признать историческим факт создания скоростного поточно-строительного конвейера возведения главных корпусов АЭС с ВВЭР-1000.

Этот метод сооружения был задуман, теоретически подготовлен и практически осуществлён на строительстве четырёх энергоблоков Балаковской АЭС.

Речь в данной статье идёт об отдельной теме: укрупнение строительных элементов зданий непосредственно на строительной площадке под необходимую грузоподъёмность кранов.

Признаки этого метода проявлялись постепенно с момента возникновения строительной отрасли. Одним из характерных этапов освоения максимального укрупнения элементов покрытия производственных корпусов является показательное строительство КАМАЗа.

Минэнерго СССР совместно с Минмонтажспецстроем СССР одновременно, проведя большие подготовительные работы, подошли к реальной возможности создания технологии монтажа покрытий цехов блок-фермами размером 12х24м. 24м- пролёт цеха, 12м-два шага колонн по 6м. Длина строящихся цехов пролётом 24м доходила до 2х километров. В начале цеха у оси «1» устанавливался гусеничный кран СКГ-2200. А за пределами последней оси размещались УСП(укрупнительно-сборочные площадки) для сборки блок-ферм. Блок-ферма представляет собой конструкцию размером 12х24, состоящую из ферм,связей, прогонов, профнастила и кровли, начинённую в межферменном пространстве проектными трубопроводами, венткоробами, электрокабелями и другими изделиями. Жёсткость конструкции позволяет транспортировать её на четырёх ж/д тележках по ж/д путям с колеёй 12м, уложенным по середине пролёта на всю длину цеха в зону работы монтажного крана. Перемещение блок-фермы по рельсам производилось буксировкой при помощи бульдозера

Кран за счёт одного подъёма решал вопрос покрытия здания сразу на два шага колонн.

В соседних пролётах происходила та же

картина. Можно себе представить эффект от такого способа строительства.

Благодаря развёрнутому по всей стране строительству квалифицированные специалисты мигрировали по разным стройкам и разносили по ним свой опыт.

Так случилось и на строительстве БАЛАКОВСКОЙ АЭС, где сконцентрировался опытный коллектив неравнодушных людей, прошедших не одну стройку. При сжатых сроках строительства энергоблоков вопрос укрупнения строительных конструкций решался как логичная, обязательная, естественная и неоспоримая задача. В результате возникла необходимость в создании специального грузоподъёмного механизма, предназначенного для выполнения конкретной задачи — возведения реакторного отделения и машзала. Необходимые технические характеристики крана были определены Техническим заданием на проектирование. Основным требованием была определена модель — КОЗЛО-ВОЙ КРАН с двумя грузовыми тележками г/п по 100тонн каждая и с передвижением над зданиями и далее над зоной приёма грузов и над УСП (укрупнительно-сборочными площадками).

Но уже первый опыт эксплуатации крана потребовал необходимость и возможность его модернизации с целью увеличения его грузоподъёмности с 200 тонн до 360 тонн, чтобы монтировать самое тяжёлое оборудование. Это оказалось реальным и с его помощью удалось смонтировать через «открытый верх» корпус реактора, парогенераторы с приваренными коллекторами, круговой кран в полном сборе, купол со спринклерной системой и всё остальное на всех четырёх блоках. Эффект от при-

менения козлового крана составил сокращение срока строительства на 12 месяцев на каждом блоке.

Особый интерес представляет необычная для козловых кранов конструкция и изящная схема самомонтажа, требующая всего два крана ДЭК-50 на один предварительный подъём.

В настоящее время этот кран марки К2х100(190) вот уже 25 лет стоит на недостроенном 5-м энергоблоке в г.Балаково как «немой свидетель» прежних строительных «баталей», как образец усовершенствования строительного дела и пример создания на его основе национальной конкурентноспособной серийной технологии сооружения наших АЭС.

Благодаря сохранности этого крана, благодаря наличию фотографий и проектной документации, подтверждающих факт производства СМР с максимальным укрупнением монтируемых элементов, благодаря оставшимся в строю специалистам, принимавшим участие в строительстве Балаковской АЭС, ещё остаётся надежда, что прежний ценнейший опыт не будет забыт и будет использован для ликвидации сложившегося отставания в выполнении программы строительства АЭС в России. Самым авторитетным «участником и свидетелем» функционирования упомянутого крана является Ипатов Павел Леонидович, занимавший в то время должность Главного инженера, затем - Директора Балаковской АЭС и принимавший энергоблоки в эксплуатацию.



Балаковская АЭС, 5 энергоблок

СТРАНИЦЫ ХРОНИКИ

Журнал «Энергетическое строительство», №2, 1986 год.
 Статья «Козловой кран К2 x 100»
 Номер посвящён строительству Балаковской АЭС

УДК 621.866.2

Козловой кран К2Х100

Инж. И. С. ЛИФШИЦ

На строительстве Балаковской АЭС в 1983 г. смонтировали и подвергли заводским испытаниям первый в СССР специальный козловой кран К2×100, который предназначен для подъема и установки тяжелых грузов. Этот кран разработан специалистами Харьковского филиала института Энергомонтажпроект и изготовлен Запорожским энергомеханическим заводом.

Кран К2×100 (рис. 1) выполнен в виде пространственной металлической рамы, состоящей из коробчатого сплошностенчатого моста, коробчатых одноосечных опор, системы подкосов, соединяющих с помощью фиксируемых на монтаже шарниров мост с этими опорами и опоры с

порталами в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

На однобалочном мосту крана размещены две главные консольные грузовые тележки, каждая из которых соединена с дополнительной тележкой устройства для подъема тяжелых грузов. Вспомогательная подвесная грузовая тележка грузоподъемностью 20 т расположена на монорельсе, который закреплен консольными кронштейнами к мосту со стороны, противоположной той, где находится главные грузовые подвески. Указанная тележка может перемещаться по консольным частям моста крана с каждой стороны на расстояние до 7 м. Кран оснащен дву-

59

мя стреловыми полноповоротными ремонтными кранами, грузоподъемность и высота подъема каждого из которых составляют соответственно 2 т и 85 м. Эти краны используются при ремонте главных и вспомогательной грузовых тележек, а также при монтаже самого крана К2×100.

В одной из опор крана размещен грузопассажирский подъемник ПГП-589. На кране установлен ряд приборов безопасности, в том числе восемь автоматических противоугонных захватов с удерживающей силой по 200 кН. Подкрановый путь — двухколейный (для каждой опоры по колее), причем ходовая часть крана К2×100 выполнена таким образом, что его можно перемещать по тем же подкрановым путям, что и краны СКР-2200 и БК-1000. Предусмотрена возможность разворота ходовой части на 90° для перегона крана на последующий энергоблок по перпендикулярному подкрановым путям перегонному пути.

Следует отметить, что принята конструктивная схема козлового крана К2×100 с однобалочным мостом, консольными грузовыми тележками, одноосечными опорами и упомянутой системой подкосов не имеет аналогов в отечественном краностроении и отличается рядом преимуществ от выпускаемых за рубежом кранов таких же параметров.

Основные технико-экономические показатели крана К2×100 приведены ниже:

Грузоподъемность, т:	
главного подъема крана	380(2×190)
то же с траверсой длиной 20 м	350
вспомогательной тележки	20
Пролет, м	80
Высота подъема тележек, м:	
главных	70
вспомогательной	70,5

Скорость подъема, м/мин:	
главного:	
основная	2,7
посадочная	0,4
вспомогательной тележки:	
основная	15
посадочная	2
Скорость передвижения, м/мин:	
крана	15,4
главных тележек	8
вспомогательной тележки	30
Длина троса, намотанного на кабельный барабан, м	100
Длина горизонтального перемещения крана без переключения кабели, м	200
Режим работы	легкий
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	400
Масса крана, т	1100

Особый интерес представляет технология монтажа этого уникального крана, предусматривающая максимальное использование узлов самого крана и обеспечивающая тем самым уменьшение количества специальной монтажной оснастки и приспособлений. В основу этой технологии заложены принцип самомонтажа крана. Лишь две операции — предварительный подъем опор и установка (снятие) на поднятую опору укосины монтажа моста — намечено выполнить с помощью кранов СКР-2200 (на первом энергоблоке Балаковской АЭС для предварительного подъема опор применили два крана ДЭК-50).

Перед началом монтажа козлового крана К2×100 на площадке перед первым энергоблоком произвели сборку, сварку и укрупнение узлов металлоконструкций и механизмов.

Основные этапы монтажа крана — монтаж опор (рис. 2) и монтаж моста (рис. 3).

До монтажа опор их полностью собрали, выверили и оснастили лестницами, электропроводками и электрооборудованием. В одну из опор (со стороны кабины) при ее сборке установили машинное отделение грузопассажирского подъемника ПГП-589, его кабину и направляющие.

Масса подготовленной к подъему опоры составила 100 т, длина — 71 м, высота шарнира поворота над уровнем головки рельса — 5 м. Обычно для перевода в вертикальное положение длинномерного оборудования аналогичных габаритов и массы даже при более низком расположении шарнира поворота требуется применение специальных тяжелых приспособлений типа шевров, иногда с гидродомкратными шагающими механизмами. В описываемом случае опору поднимали путем стягивания полиспастом соединенных между собой опоры и подкоса П2, которые были расположены в одной плоскости.

Для обеспечения устойчивости стягиваемой системы во второй плоскости к опоре шарнирно подсоединили верхний конец подкоса П1, нижний конец которого был прикреплен к шарнирному карданному узлу, находившемуся в одной плоскости с осью шарнира поворота опоры. Под опорой в одной с нею плоскости расположили под небольшим уклоном подкос П3 (верхний его конец шарнирно соединили с опорой, а нижний опирали на подкрановый путь), после чего двумя мобильными кранами ДЭК-50 произвели предварительный подъем опоры и обеспечили ее опирание на повернутый в вертикальное положение подкос П3. Затем к опоре шарнирно подсоединили подкос П2, запасовали полиспаст, стягивающий опору и подкос, и включили механизм стягивания, в результате чего произошел незначительный дальнейший подъем опоры. После этого демонтировали подкос П3. В строго вертикальное положение опору установили путем дальнейшего стягивания ее с подкосом и регулировки компенсационного стыка между откатной и стационарной частями портала (после регулировки этот стык заварили). В другой плоскости вертикальное положение опоры регулировали с помощью карданного узла подкоса П1. Точность установки верхней опоры, проверенная оптическими методами, составила ±5 мм.

Таким же способом подняли вторую опору крана, затем проверили, находятся ли обе опоры в одной плоскости и соответствует ли расстояние между их осями в плоскости моста пролету крана. На этом монтаж опор был закончен.

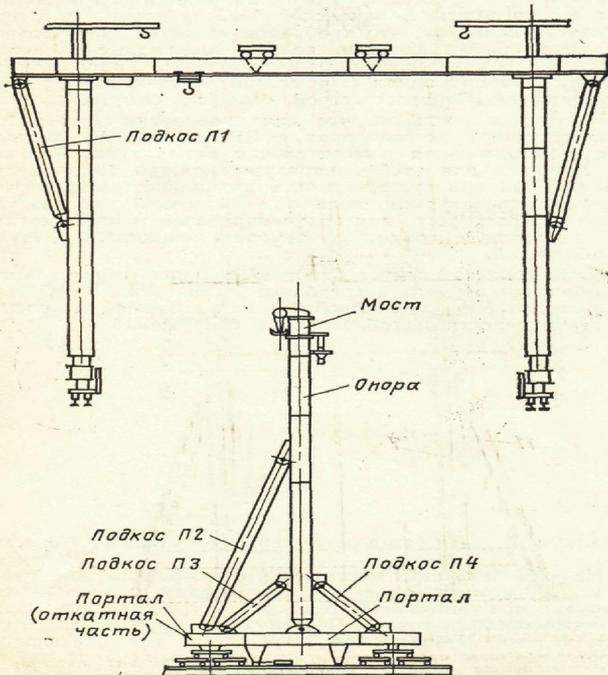


Рис. 1. Схема козлового крана К2×100

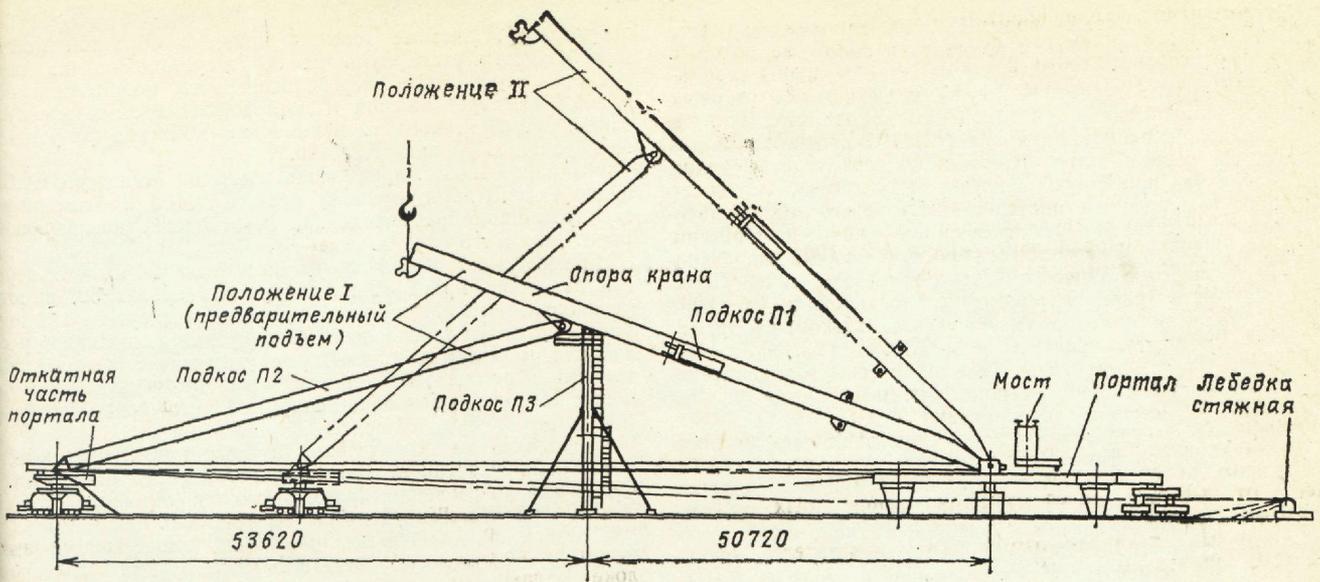


Рис. 2. Схема монтажа опоры

Перед началом монтажа моста крана в специальные люнеты, расположенные на верхней торцевой плоскости каждой опоры, с помощью кранов СКР-2200 установили подкосы П4 с полиспастной системой, которые в период монтажа моста служили укосинами. В полиспастную систему каждой укосины входили грузовой полиспаст подъема моста и полиспаст поворота укосины, используемые после стяжки и установки опор.

Согласно схеме монтажа мост разместили над порталами вблизи шарниров поворота опор со стороны, противоположной подкосам П2, поперек подкрановых путей. Благодаря такому расположению моста оказалось возможным вести одновременно сборку и подготовку к монтажу опор и моста, что позволило сократить общую продолжительность монтажа крана и выполнить в домонтажных условиях до начала основных монтажных работ полную сборку моста. Так, в этот период были произведены: полная сборка и сварка между собой всех элементов моста, размещенных на подставках переменной высоты (что обеспечило проектный строительный подъем моста), установка и сварка монорельса вспомогательной грузовой тележки, установка и холостая обкатка главных грузовых тележек, монтаж шлейфов кабельного токоподвода к главным и вспомогательной грузовой тележкам, электрооборудования внутри моста, закрепление к нижней части моста кабины крановщика, установка на консольных частях моста ремонтных кранов, лестниц и площадок. Общая масса собранного моста составила 415 т.

Грузовые полиспасты подъема закрепили за проушины моста на расстоянии, равном его пролету, а главные грузовые тележки расположили так, что впоследствии, после удаления центральных подставок, мост принял строго горизонтальное положение. Благодаря этому после подъема и установки моста было обеспечено плотное прилегание его нижней плоскости к верхним торцевым листам опор, что облегчило процесс сболчивания моста с опорами.

На заключительном этапе двумя одновременно работающими лебедками мост подняли в верхнее положение для срабатывания конечных выключателей полиспастов подъема, входящих в состав полиспастных систем укосин монтажа моста, двумя другими лебедками, также работавшими одновременно, повернули укосины и вывели мост в положение, при котором он точно завис над торцами опор. Затем опустили первыми двумя лебедками мост на опоры и скрепили его с опорами болтами.

По окончании монтажа моста произвели перестановку подкосов П1 из монтажного в проектное положение. Переставляли подкосы поочередно с целью обеспечить жесткость рамы крана в плоскости моста. Укосины монтажа

моста демонтировали кранами СКР-2200, а затем установили их в качестве коротких подкосов П4 в проектное положение, в котором они скрепляют опору с порталом. Установили также короткие подкосы П3. На этом основ-

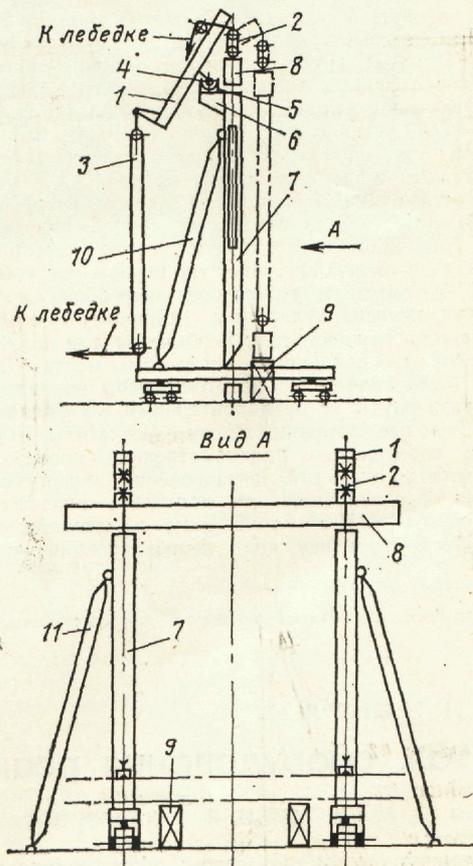


Рис. 3. Схема монтажа моста:

1 — укосина монтажа моста (подкос П4); 2 — полиспаст подъема моста; 3 — полиспаст поворота укосины; 4 — ось поворота укосины; 5 — люнет (ложемент); 6 — кронштейн; 7 — одноствоечная укосина; 8 — однобалочный мост крана; 9 — подставки моста; 10 — подкос П2; 11 — подкос П1

ные работы по монтажу крана К2×100 закончились, после чего приступили к работам по доводке оборудования, разводке электрических кабелей и наладке электроаппаратуры, регулировке всей аппаратуры и механизмов, окраске крана и подготовке его к заводским испытаниям.

Заводские испытания крана К2×100 проводили в два этапа. На первом этапе кран был подвергнут испытаниям на основную проектную нагрузку (2×100 т). Затем по заданию Управления строительства Саратовгэсстрой и Куйбышевского филиала Оргэнергостроя в сжатые сроки Харьковский филиал Энергомонтажпроекта разработал, Запорожский энергомеханический завод изготовил, а УС Саратовгэсстрой и трест Гидромонтаж смонтировали на кране устройство для подъема тяжеловесных блоков массой до 360 т с помощью траверсы и до 380 т (2×190 т) без траверсы. На втором этапе были проведены заводские испытания крана с этим устройством, после чего он был допущен к опытной эксплуатации.

Опытная эксплуатация крана производилась в течение 1984 г. при сооружении первого энергоблока Балаковской АЭС. С помощью крана смонтировали максимально укрупненные блоки строительной части герметичной зоны реакторного отделения и основное технологическое оборудование этого отделения¹.

Следует отметить, что укрупнение и монтаж блоков строительной части реакторного отделения и технологического оборудования при сооружении типового энергоблока серийной АЭС с ВВЭР-1000 впервые производили по совмещенной технологии.

Несмотря на то что монтаж и ввод крана К2×100 в работу были выполнены с некоторым опозданием, строительно-монтажные работы с его помощью уже на первом энергоблоке Балаковской АЭС велись широким фронтом. Строительные конструкции и тепломеханическое оборудование монтировали параллельно методом поярусного монтажа. Так, армометаллические конструкции защитной оболочки VI и VII ярусов собирали одновременно на площадке перед первым энергоблоком, а затем спаривали по высоте в блоки массой 300—350 т, благодаря чему оба яруса были установлены за четыре подъема.

После того как в реакторном отделении был установлен полярный кран, с помощью крана К2×100 была выполнена последняя операция на первом энергоблоке Балаковской АЭС — установка в проектное положение полностью собранного армокаркаса купола массой 200 т.

Сразу по окончании работ на первом энергоблоке кран К2×100 переместили на второй энергоблок по перегонному пути, перпендикулярному основному подкрановому пути. Перегон осуществляли необычным для козловых кранов способом — движением вдоль оси моста. Для этого сначала были поочередно поддомкращены порталы крана и на 90° развернуты (с предварительным выкатыванием) все четыре ходовые тележки. Следует отметить, что в ходе перегона соблюдалась предусмотренная проектом последовательность операций и включения механизмов передвижения, предотвращающая появление опасных распорных нагрузок в П-образной раме в процессе движения крана. После того как кран перебазировали ко второму

энергоблоку, ходовые тележки крана в обратной последовательности развернули на 90° и установили на подкрановые пути этого энергоблока. Затем подключили все механизмы передвижения и подготовили кран к эксплуатации. В марте 1985 г. приемочная комиссия разрешила эксплуатацию крана К2×100.

В марте 1985 г. приемочная комиссия Минэнерго СССР провела испытания, приняла кран К2×100 в постоянную эксплуатацию и рекомендовала изготовление последующих образцов этого крана.

Необходимо отметить, что несмотря на то, что перегон козлового крана таких габаритов (пролет 80, высота установки моста 76 м) был осуществлен впервые, эта операция была выполнена всего за 5 сут. В дальнейшем учет накопленного опыта и некоторые усовершенствования технологии перегона (в частности, отказ от выкатывания ходовых тележек) позволяют сократить его продолжительность до 2 сут и менее.

Опираясь на положительный опыт применения козлового крана К2×100 на Балаковской АЭС, следует отметить, что его использование при сооружении серийных АЭС с ВВЭР-1000 целесообразно и эффективно.

Новый козловой кран имеет ряд существенных достоинств: повышенную жесткость конструкции (что практически исключает колебания и отклонения как самой конструкции, так и поднимаемого груза), постоянную грузоподъемность по всему пролету моста, хороший обзор рабочей зоны для крановщика, повышенную надежность в эксплуатации, относительную простоту конструкции, значительно большую грузоподъемность, чем краны, используемые в настоящее время.

Безусловно, при использовании козлового крана нужны соответствующие технология работ и их организация. Особое внимание требуется уделять разработке общей схемы механизации с учетом особенностей конкретного строительства. В частности, на Балаковской АЭС уже в условиях развернутого строительства трест Гидромонтаж и Куйбышевский филиал Оргэнергостроя разработали и внедрили новую схему механизации, которая предусматривает применение в сочетании с краном К2×100 созданных СКБ Запорожгидросталь передвижных сборочных площадок-плазов. На этих плазах, расположенных за спецкорпусом, укрупняют армометаллические конструкции общей массой до 1000 т, затем плазы перекачивают в зону работы крана К2×100 по его перегонному пути. Наличие нескольких плазов позволяет вести параллельно укрупнение и монтаж конструкций на двух и более энергоблоках. На Балаковской АЭС такая технология внедрена начиная со второго энергоблока.

В заключение следует отметить, что опыт производства работ на первом энергоблоке Балаковской АЭС с применением крана К2×100 показал эффективность последнего. При этом необходимо учесть, что кран был введен в опытную эксплуатацию только в 1984 г., на завершающей стадии сооружения реакторного отделения первого энергоблока, поэтому реализовать в полной мере преимущества новой схемы механизации (с использованием крупного козлового крана) на первом энергоблоке не удалось. По расчетам специалистов, экономический эффект от применения крана К2×100 при сооружении второго и каждого последующего энергоблока Балаковской АЭС составит около 460 тыс. руб.

¹ Подробнее см. статьи подборки, опубликованные в этом же номере.

ОАО «Атомэнергопроект»

Повышение устойчивости и несущей способности оснований сооружений атомных станций путем реализации свайных фундаментов на примере сооружения спецкорпуса Балаковской АЭС

тема номера

Цель настоящей работы на примере блока мастерских (БМ) сооружения спецкорпуса Балаковской АЭС: во-первых, по результатам натуральных наблюдений обосновать достоверность разработанной модели свайных фундаментов, во-вторых, продемонстрировать целесообразность применения свайных фундаментов для повышения устойчивости и несущей способности оснований сооружений атомных станций

Авторы: Доктор технических наук, профессор А.Е. Саргсян,
инженер А.В. Кунтуров,
инженер В.С. Геращенко

Переход от конструктивной схемы к конечно-элементной модели осуществляется путем замены реальных конструкций расчётными элементами.

Для создания конечно-элементной модели системы «сооружение-основание» применяются пружинно-демпферные, стержневые, оболочечные элементы.

Пружинно-демпферный элемент имеет продольные или крутильные свойства, что позволяет его применять в одномерных, двумерных или трёхмерных задачах. Опция продольного упругого демпфера формирует одноосный элемент, воспринимающий растяжение и сжатие, имеющий до трёх степеней свободы в каждом узле - перемещения в направлении осей x , y и z узловой системы координат. Свойства изгиба и кручения отсутствуют. Опция крутильного упругого демпфера формирует чистый поворотный элемент с тремя степенями свободы в каждом узле: повороты вокруг осей x , y и z узловой системы координат. Свойства изгиба или восприятия продольного усилия отсутствуют. Элемент не имеет массы. Элемент определяется двумя узлами, константой упругости и коэффициентом демпфирования.

Стержневой элемент предназначен для моделирования балочных конструкций. Элемент основан на теории балки Тимошенко, где учитываются эффекты сдвиговых деформаций. Представляет собой линейный пространственный балочный элемент. Имеет шесть или семь степеней свободы в каждом узле: перемещения в направлении осей x , y , z , повороты вокруг осей x , y , z узловой системы координат. При необходимости добавляется седьмая степень свободы: деформация поперечного сечения. Данный элемент пригоден для линейных, а также нелинейных задач с боль-

шими угловыми и линейными деформациями.

Оболочечный элемент имеет четыре узла и шесть степеней свободы в каждом узле: перемещения в направлении осей x , y , z и повороты вокруг осей x , y , z узловой системы координат. Может применяться в линейных и в нелинейных задачах с большими угловыми и линейными деформациями. Применительно к элементу поддерживаются полный и усечённый варианты численного интегрирования.

Центральные оси стержневых элементов для моделирования железобетонных колонн проходят через центры тяжести поперечных сечений.

Срединные поверхности оболочек проходят через геометрический центр стен, перекрытий и покрытия.

Для моделирования основания рассматриваемых сооружений с естественным и свайным основанием применяются механические модели, разработанные в работах [1,2,3 – см. список литературы].

Общий вид разработанной пространственной конечно-элементной модели блока мастерских спецкорпуса Балаковской АЭС представлен на рисунке 1.

Общее количество конечных элементов в модели блока мастерских 92883, узлов – 111791.

Расчетные параметры интегральных жесткостей грунтовой среды на контактной поверхности подошвы ростверка определяются по выражениям, представленным в таблице 1 (Выражения для определения эквивалентных интегральных статических жесткостей основания при перемещении ростверка прямоугольной формы в плане).

Направление перемещения	Интегральная жесткость
Горизонтальное, по оси x	$k_x = \frac{31,1(1 - \mu_1)G_{s,1}\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}(7 - 8\mu_1)}$
Горизонтальное, по оси y	$k_y = \frac{31,1(1 - \mu_1)G_{s,1}\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}(7 - 8\mu_1)}$
Вертикальное, по оси z	$k_z = \frac{4G_{s,1}\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}(1 - \mu_1)}$

В таблице 1 введены следующие обозначения:

μ_1 - осредненное значение коэффициента Пуассона поверхностного слоя грунтовой среды на уровне подошвы ростверка;

$G_{s,1}$ - осредненное значение модуля сдвига поверхностного слоя грунтовой среды на уровне подошвы ростверка;

$A = L_x L_y$ - площадь подошвы ростверка прямоугольной формы в плане;

L_x, L_y ($L_x \geq L_y$) - длина и ширина ростверка (фундаментной плиты) на плане соответственно по координатным осям x и y .

Расчетные параметры интегральных статических жесткостей грунтовой среды на контактной боковой поверхности и на подошве свай определяются выражениями, представленными в таблице 2 [2,3].

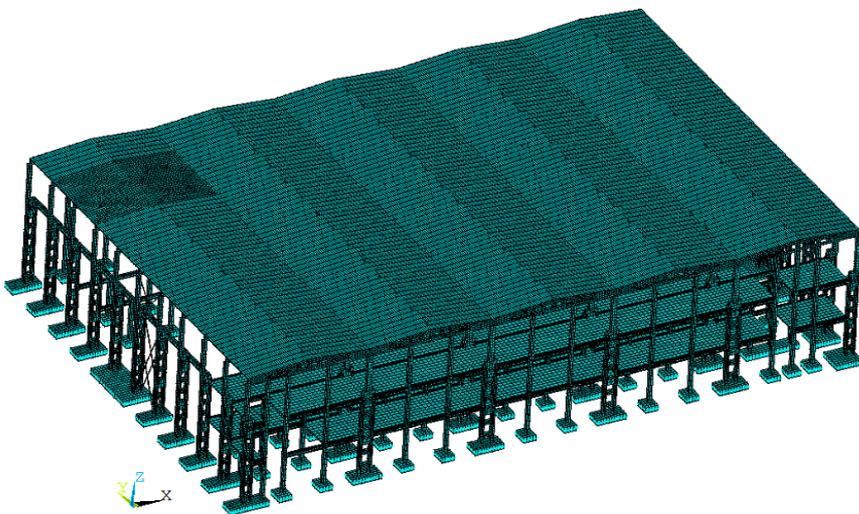


Рис.1 Общий вид модели блока мастерских спецкорпуса Балаковской АЭС

При формировании результирующей реакции грунтовой среды на контактной поверхности сваи исходят из следующих предположений:

- на стенках боковой поверхности сваи при формировании растягивающих напряжений на контактной поверхности нарушается условие полного прилипания, исходя из предположения, что грунт на растяжение не работает;
- при вертикальном перемещении вдоль продольной оси сваи по контуру всей боковой поверхности сваи грунты испытывают чистый сдвиг, а на подошве сваи сжатие;
- при перемещении сваи с прямоугольным поперечным сечением в горизонтальном направлении в грунтовой среде, в двух противоположных боковых поверхностях происходит сдвиг

грунтов. В передней стенке боковой поверхности по направлению перемещения сваи происходит сжатие, а в противоположной стенке - отрыв грунта от поверхности стенки сваи; при перемещении сваи в горизонтальном направлении на подошве сваи грунты испытывают чистый сдвиг. Эпюры контактных напряжений на боковой поверхности сваи с квадратным поперечным сечением при перемещении по направлениям координатных осей x, y, z представлены на рисунке 2.

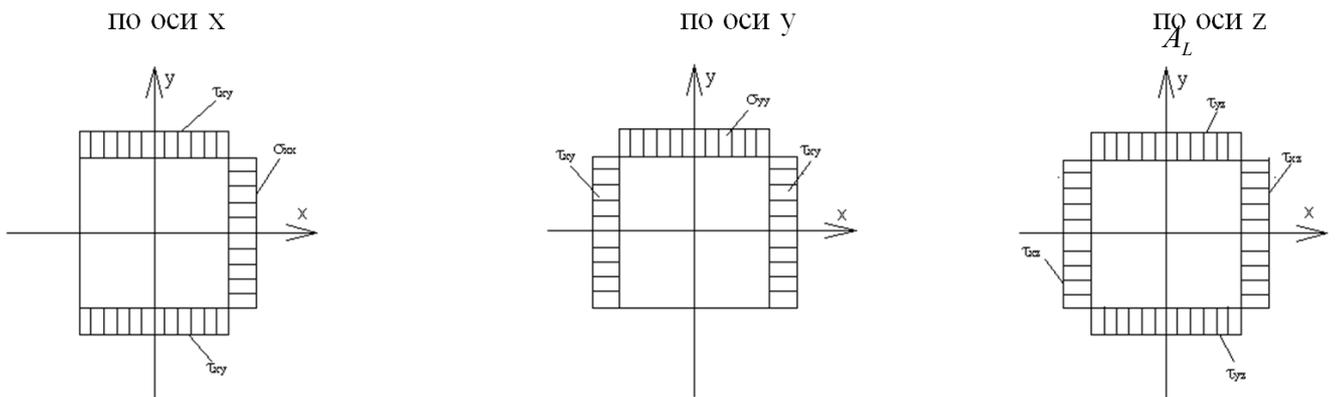


Рис.2 Характер распределения контактных напряжений на боковой поверхности сваи с квадратным поперечным сечением при перемещении в грунтовой среде по направлениям координатных осей x, y, z .

Направление перемещения сваи	Интегральная жесткость грунтовой среды	
	На боковой поверхности сваи	На подошве сваи
Горизонтальное, по оси x	$k_x = \frac{31,1(1-\mu)G_s\sqrt{A_{1x}}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu)R_s} + \frac{4G_s\sqrt{A_{2x}}}{\sqrt{\pi}(1-\mu)R_s}$	$k_x = \frac{31,1(1-\mu_{sL})G_{sL}\sqrt{A_L}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu_{sL})R_s}$
Горизонтальное, по оси y	$k_y = \frac{31,1(1-\mu)G_s\sqrt{A_{1y}}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu)R_s} + \frac{4G_s\sqrt{A_{2y}}}{\sqrt{\pi}(1-\mu)R_s}$	$k_y = \frac{31,1(1-\mu_{sL})G_{sL}\sqrt{A_L}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu_{sL})R_s}$
Вертикальное, по оси z	$k_z = \frac{31,1(1-\mu)G_s\sqrt{A_z}}{\sqrt{\pi}(7-8\mu)R_s}$	$k_z = \frac{4G_{sL}\sqrt{A_L}}{\sqrt{\pi}(1-\mu_{sL})R_s}$

Таблица.2 Выражения для определения интегральных статических жесткостей грунтовой среды на контактной поверхности при общем характере перемещений сваи

В таблице 2 введены следующие обозначения в зависимости от геометрической формы поперечных сечений сваи:

- A_{1x} площадь контактной боковой поверхности сваи с грунтовой средой, испытывающей сдвиг при перемещении сваи по направлению оси x ;
- A_{2x} площадь контактной боковой поверхности сваи с грунтовой средой, испытывающей сжатие при перемещении сваи по направлению оси x ;
- A_{1y} площадь контактной боковой поверхности сваи с грунтовой средой, испытывающей сдвиг при перемещении сваи по направлению оси y ;

- A_{2y} площадь контактной боковой поверхности сваи с грунтовой средой, испытывающей сжатие при перемещении сваи по направлению оси y ;
- A_z площадь контактной боковой поверхности сваи с грунтовой средой или площадь боковой поверхности сваи, испытывающей сдвиг при перемещении сваи в вертикальном направлении;
- A_L площадь подошвы сваи.

С учетом формы поперечного сечения сваи и характера распределения эпюры контактных напряжений (рисунок 2) при перемещении сваи по направлениям координатных осей x, y, z , получим: $A_{1x} = 2a_x h_c = 2 \cdot 0,3 \cdot 2 = 7,2 i^2$

; $A_{2x} = a_y h_c = 3,6 i^2$; $A_{1y} = 2a_y h_c = 7,2 i^2$;

$A_{2y} = a_x h_c = 3,6 i^2$; $A_z = 2(a_x + a_y) h_c = 4,4 i^2$;

$A_L = a_x a_y = 0,09 i^2$;

$h_c = 2 i$ - высота сваи;

$a_x = 0,3 i$; $a_y = 0,3 i$ - размеры по перерного сечения сваи прямоугольной формы по направлению координатных осей x и y . Размеры поперечного сечения сваи прямоугольной формы понаправлению координатных осей x и y .

В таблице 2 введены следующие дополнительные обозначения:

$$G_s = \frac{\sum_{i=1}^n G_{s,i} h_i}{h_c} = 7,8 \text{ } \ddot{H} \ddot{a} \quad , \quad \mu_s = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i h_i}{h_c} = 0,3$$

-приведенный статический модуль сдвига и коэффициент Пуассона грунтов основания по высоте зоны расположения свайного поля;

$G_{\pm} = 5,4 \text{ } \ddot{H} \ddot{a} \quad , \quad \mu_{\pm} = 0,8$ - модуль сдвига и

коэффициент Пуассона грунтов на уровне подошвы свай;

R_s - корректирующий коэффициент, учитывающий эффекты взаимодействия сваи в составе свайного куста [2,3].

Для сооружения блока мастерских спецкорпуса выделяются следующие типы ростверков фундаментных конструкций (рисунок 3):

- первый тип; расположены в местах пересечений осей А,Б,Г,Д,Е – 1,.....,5; отметка расположения подошвы от свободной поверхности площадки минус 2,8 м; размеры

подошвы на плане $L_x = 4,2 i$; $L_y = 2,1 i$; число ростверков - 45; общее число закрепленных свай к ростверку - 11;

- второй тип; расположены между и в местах пересечений осей Б, Д – 1,.....,6; отметка расположения подошвы от свободной поверхности площадки минус 2,8 м; размеры

подошвы на плане $L_x = 1,8 i$; $L_y = 1,8 i$; число ростверков - 45; общее число закрепленных свай к ростверку - 5;

- третий тип; расположены по осям А, Е; отметка расположения подошвы от свободной поверхности площадки минус 2,8 мм; размеры подошвы на плане

$L_x = 1,8 i$; $L_y = 2,1 i$; число ростверков - 20; общее число закрепленных свай к ростверку - 6;

- четвертый тип; расположены вдоль оси Б; отметка расположения подошвы от свободной поверхности площадки минус 2,8 м; размеры подошвы на плане

$L_x = 3,6 i$; $L_y = 3,6 i$; число ростверков - 9; общее число закрепленных свай к ростверку - 10;

- пятый тип; расположены в местах пересечений осей В – 1,2,3,4,5; отметка расположения подошвы от свободной поверхности площадки минус 2,8 м; размеры подошвы на

плане $L_x = 4,2 i$; $L_y = 9,0 i$; число ростверков - 5; общее число закрепленных свай к ростверку - 40;

- шестой тип; расположены по оси 1; отметка расположения подошвы от свободной поверхности площадки минус 2,8

м; размеры подошвы на плане $L_x = 4,8 i$; $L_y = 2,1 i$; число ростверков - 2; общее число закрепленных свай к ростверку - 14;

- седьмой тип; расположен в месте пересечения осей В – 6; отметка расположения подошвы от свободной поверхности площадки минус 2,8 м; размеры подошвы на плане

$L_x = 3,6 i$; $L_y = 8,0 i$; число ростверков - 1; общее число закрепленных свай к ростверку - 30;

- восьмой тип; расположен между осями Д, Е и 5,6; отметка расположения подошвы от свободной поверхности площадки минус 2,8 м; размеры подошвы на плане

$L_x = 7,8 i$; $L_y = 1,8 i$; число ростверков - 1; общее число закрепленных свай к ростверку - 17.

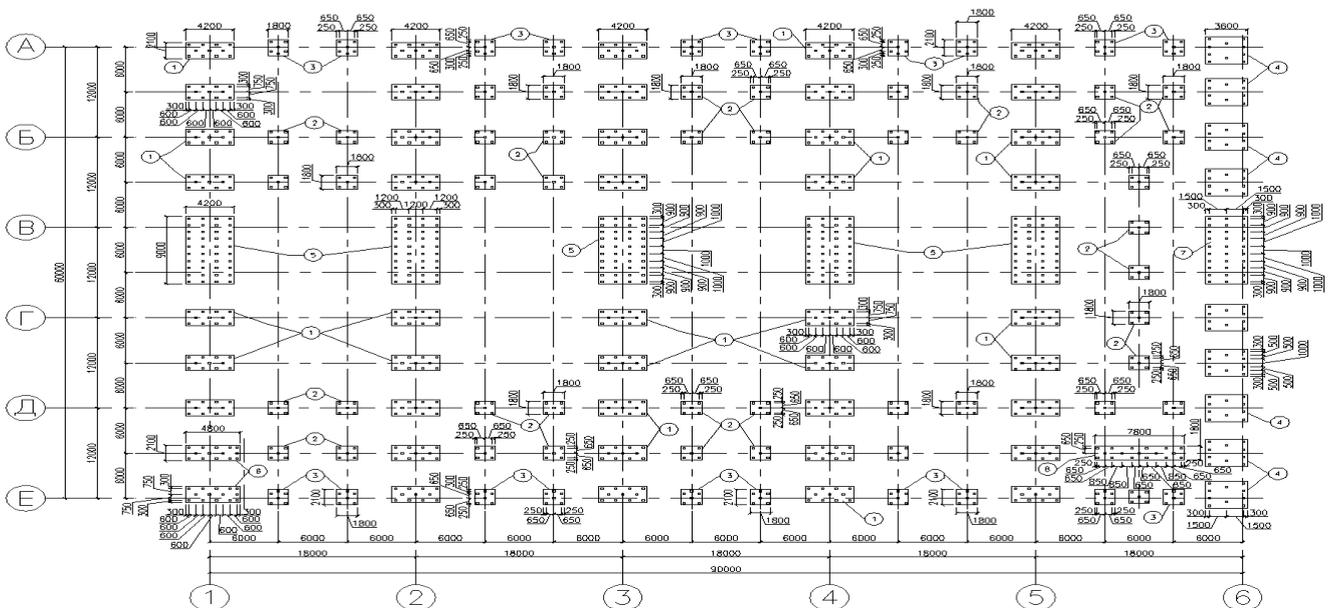


Рис.3 Схема расположения ростверков фундаментных конструкций блока мастерских (БМ) спецкорпуса на плане

Тип ростверка	$L_x, \text{м}$	$L_y, \text{м}$	$A, \text{м}^2$	$\sqrt{A}, \text{м}$	$\rho, \frac{\text{кН} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}$	μ	$G_s, \text{МПа}$
1	4,2	2,1	8,82	2,97	1,83	0,24	18,15
2	1,8	1,8	3,24	1,8	1,83	0,24	18,15
3	1,8	2,1	3,78	1,94	1,83	0,24	18,15
4	3,6	3,6	12,96	3,6	1,83	0,24	18,15
5	4,2	9,0	37,8	6,15	1,83	0,24	18,15
6	4,8	2,1	10,08	3,17	1,83	0,24	18,15
7	3,6	8,0	28,8	5,37	1,83	0,24	18,15
8	7,8	1,8	14,04	3,75	1,83	0,24	18,15

Таблица.3 Геометрические характеристики различных типов ростверков фундаментных конструкций и приведенные расчетные характеристики грунтов основания

Схема расположения ростверков и свайного поля в грунтовой среде с учетом геологической структуры основания сооружения спецкорпуса представлена на рисунке 4.

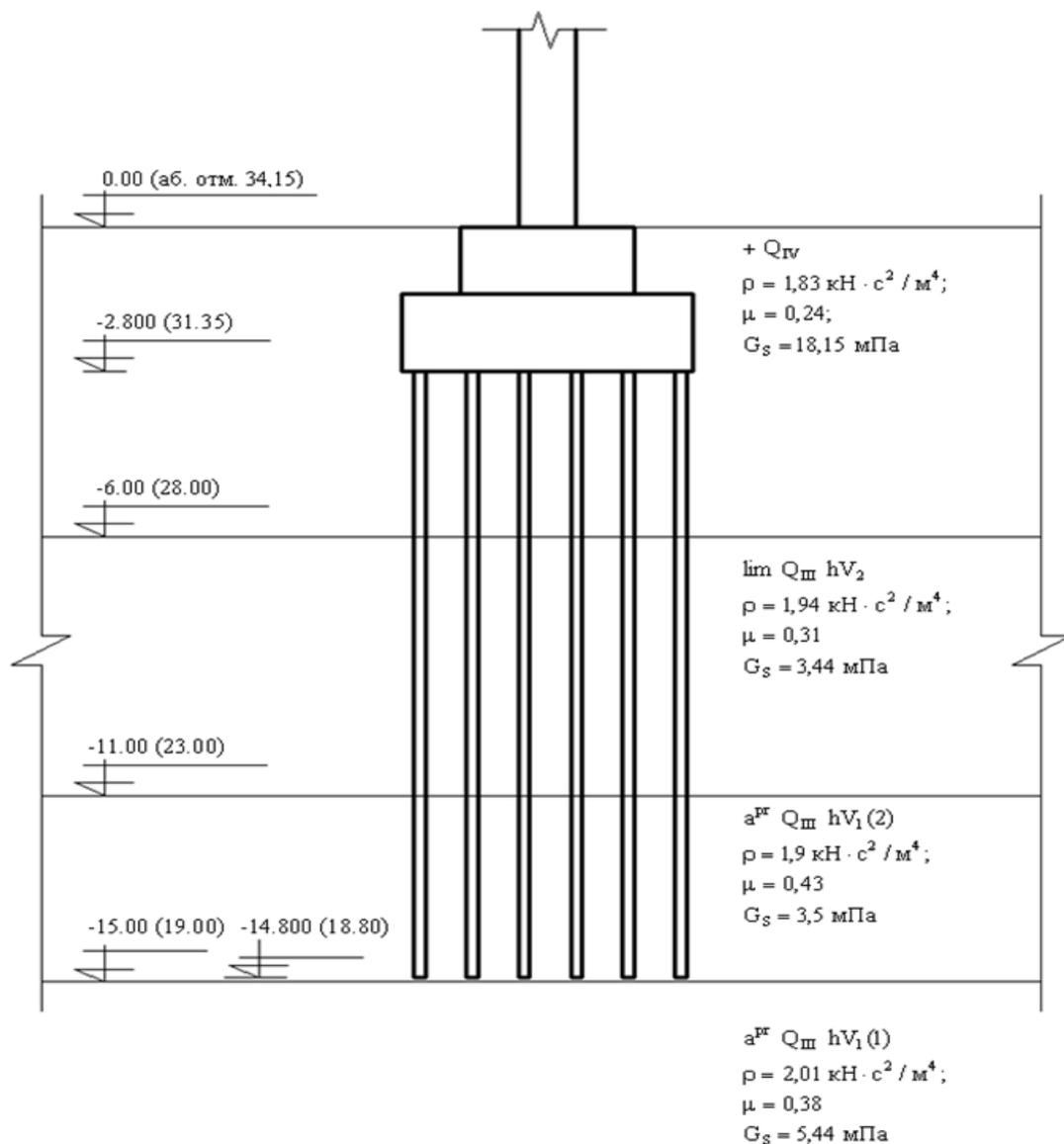


Рис.4 Схема расположения фундаментных конструкций блока мастерских спецкорпуса Балаковской АЭС в грунтовой среде с учетом геологической структуры основания

При определении интегральных жесткостей грунтовой среды на подошвах ростверков начало декартовой системы координат поместить в центре тяжести подошвы и вертикальную ось z направить вверх, а горизонтальные оси x и y направить по главным центральным осям инерции поверхности подошвы фундаментной конструкции.

В таблице 4 обобщены расчетные значения интегральных статических жесткостей основания ростверков блока мастерских спецкорпуса.

Тип ростверка	G_s , МПа	μ	\sqrt{A} , м	$k_x = k_y$, $10^5 \frac{\kappa H}{M}$	k_z , $10^5 \frac{\kappa H}{M}$
1	18,15	0,24	2,97	1,42	1,60
2	18,15	0,24	1,8	0,86	0,97
3	18,15	0,24	1,94	0,93	1,05
4	18,15	0,24	3,6	1,72	1,94
5	18,15	0,24	6,15	2,94	3,31
6	18,15	0,24	3,17	1,52	1,71
7	18,15	0,24	5,37	2,57	2,89
8	18,15	0,24	3,75	1,79	2,02

Расчетные значения интегральных статических жесткостей грунтовой среды на контактной поверхности при общем характере перемещений одиночной сваи, т.е. без учета эффекта взаимодействия свайного куста обобщены в таблице 5.

Направление перемещения сваи	Интегральная жесткость грунтовой среды, $10^4 \frac{\kappa H}{M}$	
	На боковой поверхности сваи	На подошве сваи
Горизонтальное, по оси x	$k_x = 10,06$	$k_x = 0,45$
Горизонтальное, по оси y	$k_y = 10,06$	$k_y = 0,45$
Вертикальное, по оси z	$k_z = 7,56$	$k_z = 0,59$

Расчетные значения интегральных статических жесткостей грунтовой среды на контактной поверхности при общем характере перемещений одиночной сваи с учетом эффекта взаимодействия свайного куста в основании различных типов ростверков сооружения спецкорпуса обобщены и представлены в таблице 6.

Тип ростверка	Общее число свай в основании единичного ростверка	Значение коэффициента R_s	Интегральная жесткость грунтовой среды, $10^4 \frac{\kappa H}{M}$			
			На боковой поверхности сваи		На подошве сваи	
			$k_x = k_y$	k_z	$k_x = k_y$	k_z
1	11	4,0	2,52	1,89	0,11	0,15
2	5	2,5	4,024	3,02	0,18	0,24
3	6	2,6	3,85	3,91	0,17	0,22
4	10	3,95	2,55	1,91	0,11	0,14
5	40	6,6	1,52	1,16	0,07	0,09
6	14	4,8	2,10	1,58	0,09	0,12
7	30	6,0	1,68	1,26	0,08	0,11
8	17	4,92	2,05	1,54	0,09	0,12

Интегральные статические жесткости свайного куста за счет эффекта их взаимодействия с грунтовой средой для различных типов ростверков представлены в таблице 7.

Тип ростверка	Интегральная жесткость грунтовой среды, $10^5 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$	
	$k_x = k_y$	k_z
1	2,893	2,244
2	2,102	1,630
3	2,412	2,478
4	2,66	2,05
5	6,36	5,00
6	3,066	2,38
7	5,28	4,11
8	3,638	2,822

Суммарные интегральные статические жесткости основания ростверков с учетом эффектов взаимодействия с грунтовой средой ростверка и свайного куста приведены в таблице 8

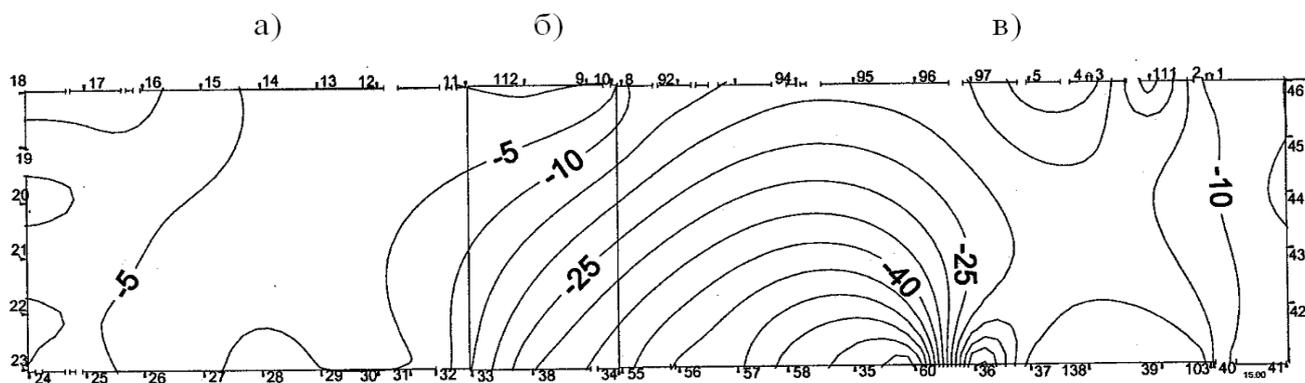
Тип ростверка	Интегральная жесткость грунтовой среды, $10^5 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$	
	$k_x = k_y$	k_z
1	4,313	3,844
2	2,962	2,60
3	3,342	3,528
4	4,38	3,99
5	9,30	8,31
6	4,586	4,09
7	7,85	7,00
8	5,428	4,842

Инструментальные наблюдения за вертикальными перемещениями (осадками) здания спецкорпуса методом геодезического нивелирования начаты 3 мая 1984г. Первые результаты наблюдений изложены в «Техническом отчете о геодезических работах по наблюдениям за осадками сооружений Балаковской АЭС за 1984г.» Центральной комплексной изыскательской экспедиции института «Гидропроект» им. С.Я. Жука, Городец, 1985. Контрольные геодезические марки были установлены в апреле 1984 г. Исходными для нивелирования послужили глубинные грунтовые реперы № 2 и № 3. Цикл № 2 и цикл № 3 наблюдений были выполнены соответственно 10 августа и 30 ноября 1984 г. В последний цикл наблюдений были вовлечены 66 марок из 126 установленных и две марки по вентиляционной трубе.

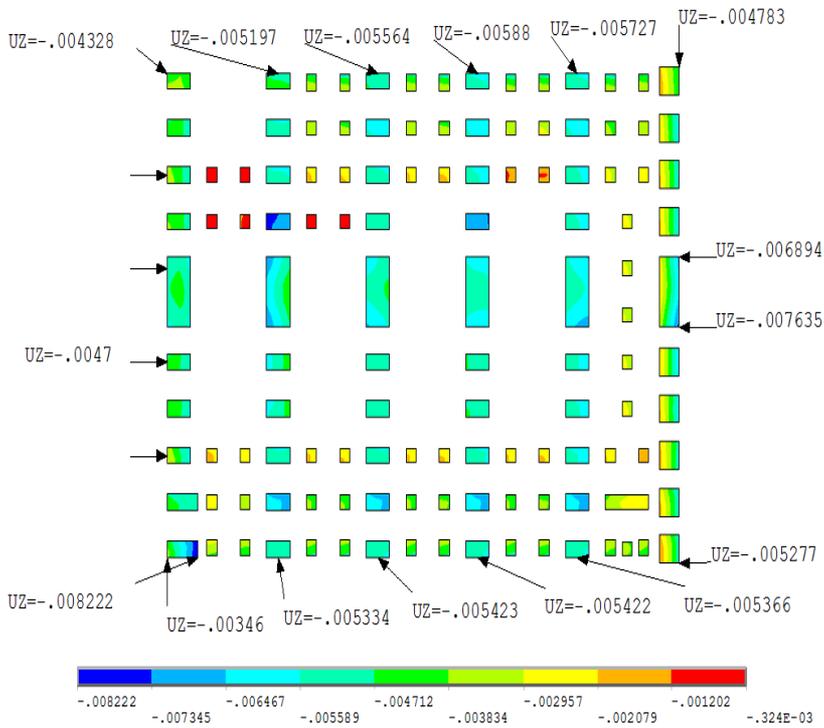
Зафиксированный уровень осадок СК по состоянию на 30 ноября 1984 г. составил от 0 до 19 мм (марки №№ 61 и 70). На нескольких марках осадка составила 17–18 мм, на большинстве – не более 12 мм.

В дальнейшем измерения проводились силами указанной экспедиции, затем – КИП-27 Городецкого отделения института «Атомэнергопроект» и в последние 8 лет – силами Балаковского изыскательского филиала ФГУП «Атомэнергопроект» и ООО НПФ «ГЕО».

На рисунке 5 представлены изолинии суммарных вертикальных смещений осадочных марок спецкорпуса по данным натурных наблюдений для блока мастерских (а), санитарно – бытового блока (б) и блока спецводоочистки (в).



На рисунках 6 и 7 представлены изолинии вертикальных перемещений ростверков блока мастерских со свайными кустами и без них, вычисленные в настоящей работе по результатам расчетов.



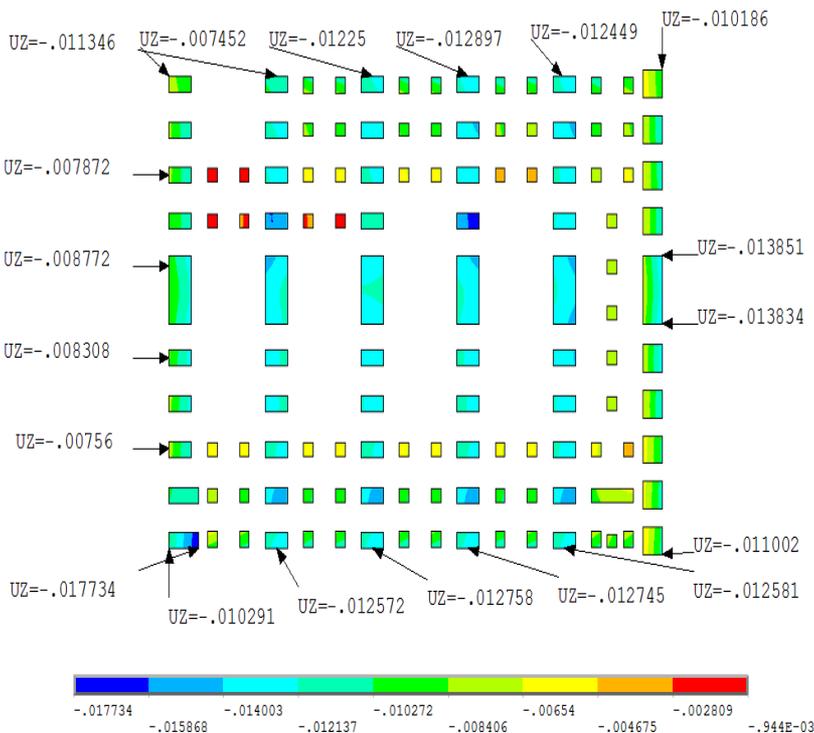
Сопоставление результатов натурных наблюдений и расчетов изолиний осадок ростверков блока мастерских представленных на рисунках 5 и 6 соответственно показывают высокий уровень их сходимости. Данное обстоятельство является прямым доказательством достоверности применяемой механической модели свайного основания, которая была разработана в работе [2].

Далее, сопоставление результатов расчетов изолиний осадок сооружения блока мастерских со свайным основанием (рисунок 6) и на естественном основании (рисунок 7) наглядно демонстрирует увеличение осадок сооружения в среднем в два раза на естественном основании в сравнении с осадками сооружения со свайным основанием.

будет забыт и будет использован для ликвидации сложившегося отставания в выполнении программы строительства АЭС в России. Самым авторитетным «участником и свидетелем» функционирования упомянутого крана является Ипатов Павел Леонидович, занимавший в то время должность Главного инженера, затем - Директора Балаковской АЭС и принимавший энергоблоки в эксплуатацию.

Список литературы

- 1 Саргсян А.Е., Гукова Е.Г., Гришин А.С. Разработка и обоснование механической и математической модели основания сооружений атомных станций в виде однородного инерционного полупространства. Исследования по теории сооружений - Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, №1, Москва, 2009.
- 2 Саргсян А.Е., Геращенко В.С. Разработка статической и динамической модели свайных фундаментов с учетом эффекта их взаимодействия с грунтовой средой. Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, №2, Москва, 2010.
- 3 МР 1.5.2.05.999.0026 – 2011 Нормы проектирования оснований сооружений атомных станций. Москва, 2011.
- 4 СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов. Москва, 2004.



Организационно-экономический механизм технологии дискретного армирования и особенности её применения при строительстве АЭС

Авторы: Сюткин Ю.А., Лукашенко А.Г., Сорокин А.П., Манченко Д.В., Борис А.Ю.
ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

Статья посвящена развитию Технологии дискретного армирования (ТДА), разработанной в ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», в которой мы подробнее остановимся на экономических аспектах.

Технико – экономические показатели нашей технологии следующие:

- Трудозатраты при устройстве монолитных фундаментных плит и плит перекрытий снижаются от 18 до 30% в зависимости от конструктивных особенностей объектов.

- Сметная стоимость устройства монолитных фундаментных плит и плит перекрытия сокращается от 17 до 30%.
- Экономия стали и бетона на данных работах до 40%.

- Сокращение сроков строительства фундаментной плиты здания УА на 2 месяца против 6 планируемых. При строительстве зданий регулярной планировки сроки строительства сокращаются на 25 %.

Основной тенденцией развития в последние годы является освоение технологий, позволяющих многократно повысить производительность труда на основе автоматизации производственных процессов и новых материалов. Относительная стоимость рабочей силы при таких процессах в сравнении со стоимостью материалов и оборудования не имеет решающего значения и происходит глобальное перераспределение производственных мощностей из стран с дешёвой рабочей силой и низкой квалификацией, обратно в развитые страны с традициями высокого образования и культуры производства. Россия располагает достаточным интеллектуальным и техническим потенциалом для интенсивного экономического развития, соответствующего статусу ведущей мировой державы XXI века.

Госкорпорация «Росатом» на основе нынешних позиций ведущей мировой фирмы в одной из самых технологичных отраслей - атомной промышленности объективно имеет возможность для экспоненциального развития выхода на другие, смежные рынки машиностроительной продукции и строительства.

ОАО НПО ЦНИИТМАШ, как головная технологическая организация Корпорации, способна превратиться в глобального лидера по развитию машиностроительных и строительных технологий.

При этом основной стратегической компонентой организации должно стать стремление к возможности реализации наиболее полной инжиниринговой схемы развития, охват всех этапов разработки, проектирования, производства и эксплуатации вновь созданных объектов на основе НИОКР.

Технология дискретного армирования (ТДА) обладает высоким технико-экономическим потенциалом, возможностью сокращения материалоемкости, стоимости и сроков строительства. Данная технология применима и для АЭС ВВЭР-ТОИ.

Внедрение технологии в полной мере соответствует стратегической цели ГК «Росатом» – глобализации бизнеса.

Технологии дискретного армирования включает следующие технологические процессы:

1. рулонное армирование монолитных железобетонных конструкций.
2. механические соединения арматуры отечественного производства (муфты).
3. монолитные перекрытия с пустотными элементами.

Применение Технологии дискретного армирования при строительстве АЭС имеет ряд особенностей.

Рулонное армирование монолитных железобетонных конструкций

В составе данной работы решали проблемы совмещения монтажа рулонов армирования и закладных деталей, ригелей и проходок.

Узел установки сложной закладной детали в армоконструкцию плиты перекрытия представлен на рисунке 1. Особого внимания требует решение с установкой потолочных закладных деталей в плитах перекрытий. Узел установки потолочной закладной детали приведён на рисунке 2.

Крепление анкерующих гнутых стержней к стальной пластине осуществляется при помощи специального устройства для сварки. Приварку анкерных гнутых стержней необходимо производить после раскатки первого и второго нижних рядов армирования плиты перекрытия. Разработка отечественного устройства по осуществлению сварки арматурных стержней с закладными деталями активно ведётся в ОАО НПО «ЦНИИТМАШ». Получены положительные результаты.

Не менее важной конструктивной особенностью применения технологии дискретного армирования в плоских балочных перекрытиях является совместный монтаж арматурных

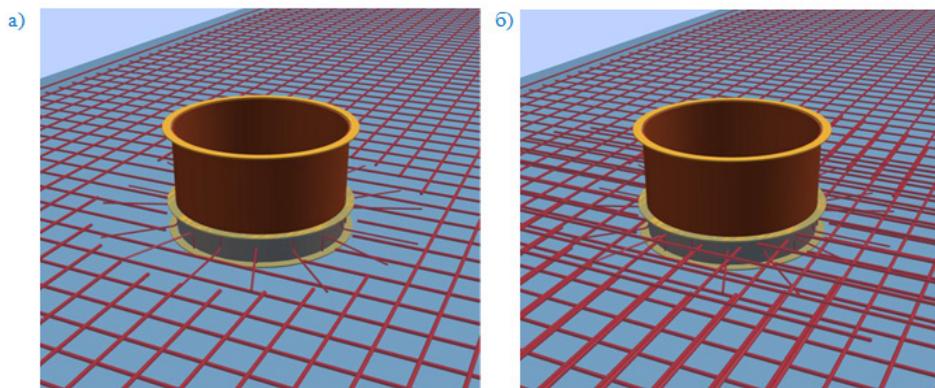


Рис.1 Узел установки закладного изделия (трубной проходки) в армоконструкцию плиты перекрытия: а) вид без дополнительной арматуры; б) вид с установленной дополнительной арматурой

каркасов балок (ригелей) и ковров армирования. Процесс совместного монтажа армоконструкций плоского балочного перекрытия состоит из нескольких этапов:

1) раскладка поддерживающих кусков арматурных стержней над углублениями под балки (ригеля) в опалубке (иллюстрация этапа приведена на рисунке 3).
2) Раскладка нижней и распределительной арматуры балки (ригеля) (раскладываются только те продольные арматурные стержни, которые находятся под первым и вторым нижними слоями армирования плиты перекрытия) (иллюстрация этапа приведена на рисунке 4).
3) Укладка арматурных ковров первого нижнего слоя армирования плиты перекрытия с установкой муфт (при применении муфтового соединения) или внахлест (иллюстрация этапа приведена на рисунке 5).

4) Устройство проёмов в нижней сетке, установка стержней дополнительного армирования нижней сетки

5) Осуществляется сборка неполного пространственного каркаса балки (ригеля) без установки распределительной арматуры (иллюстрация этапа приведена на рисунке 6).

6) Установка неполного пространственного каркаса балки (ригеля) в проектное положение (иллюстрация этапа приведена на рисунке 7).

7) Осуществляется окончательная сборка пространственного арматурного каркаса балки (ригеля) (иллюстрация этапа приведена на рисунке 8).

В настоящее время оборудование для производства ковров армирования выпускают на единственной фирме «Hundegger» в Германии и стоит оно около 1 млн. евро. Кроме того, при продаже оборудования поставщик ставит условие о постоянной оплате 4 -8% от стоимости арматуры использованной для производства ковров армирования.

Основной принцип монтажа элементов рулонного армирования представлен на рисунке 9.

Создание отечественного импортзамещающего оборудования позволит значительно снизить цены и избежать зависимости от иностранных поставщиков. Далее можно привести финансовые показатели производства ковров армирования (таблица №1). Прогнозируемый объем производства на 2013г 13 тыс. тонн. Цена реализации 1 тонны ковра армирования составляет 41 тыс. руб., себестоимость 455 000 тыс. руб., при этом чистая прибыль будет в пределах 60 млн. руб., а рентабельность 13,7%.

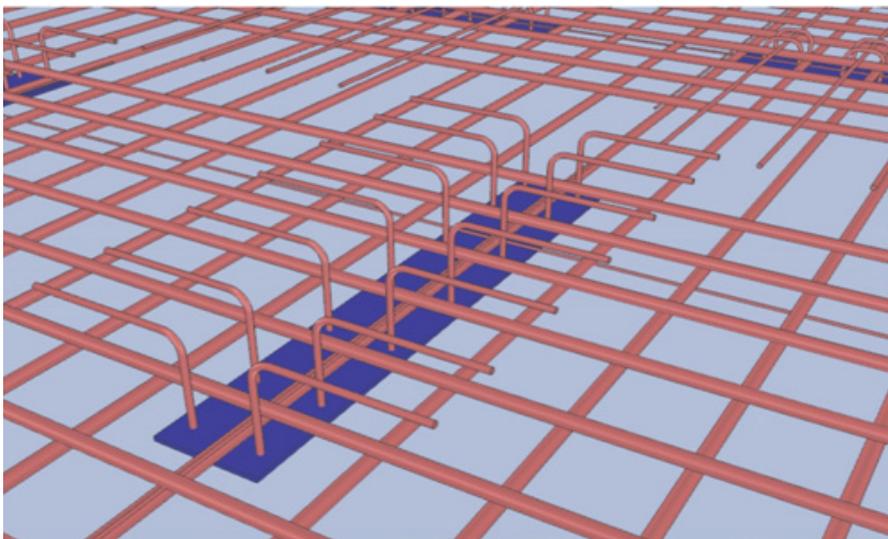


Рис.2 Узел установки закладной детали в армоконструкцию плиты перекрытия

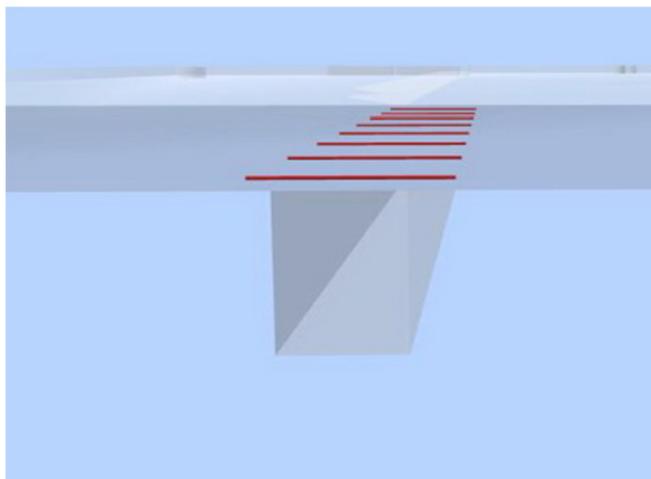


Рис.3 Раскладка поддерживающих кусков арматурных стержней над углублениями под балки (ригеля) в опалубке

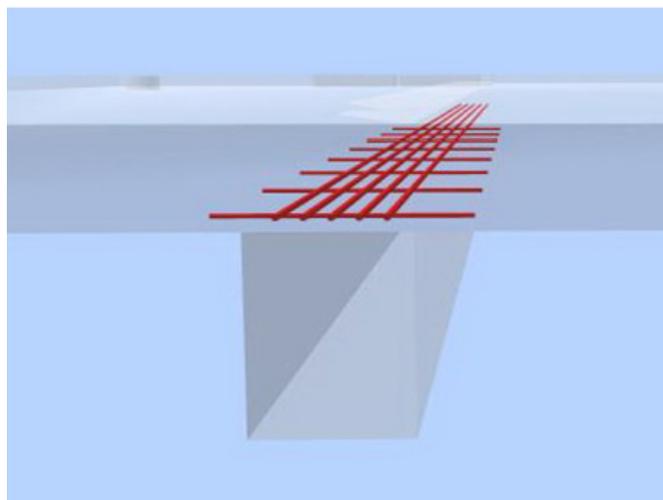


Рис.4 Раскладка нижней и распределительной арматуры балки (ригеля)

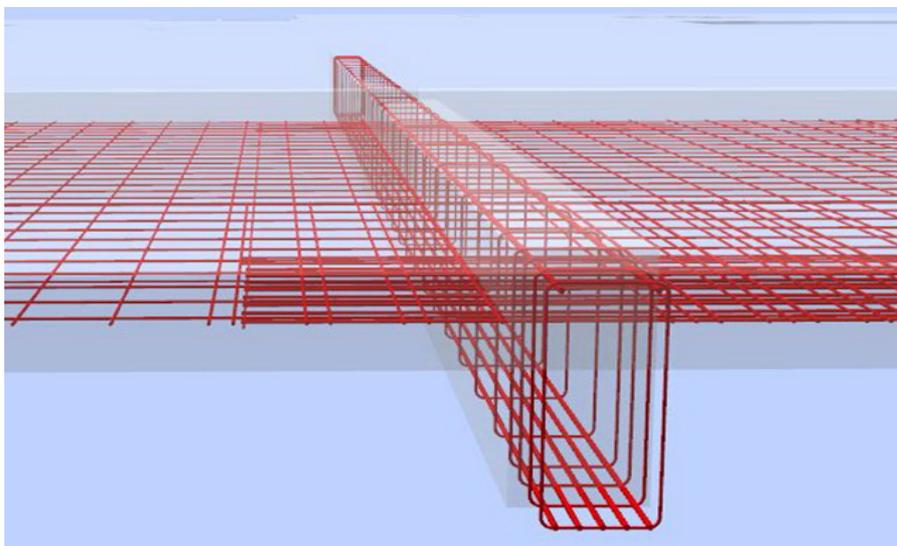


Рис.5 Укладка первого и второго слоёв нижней сетки армирования

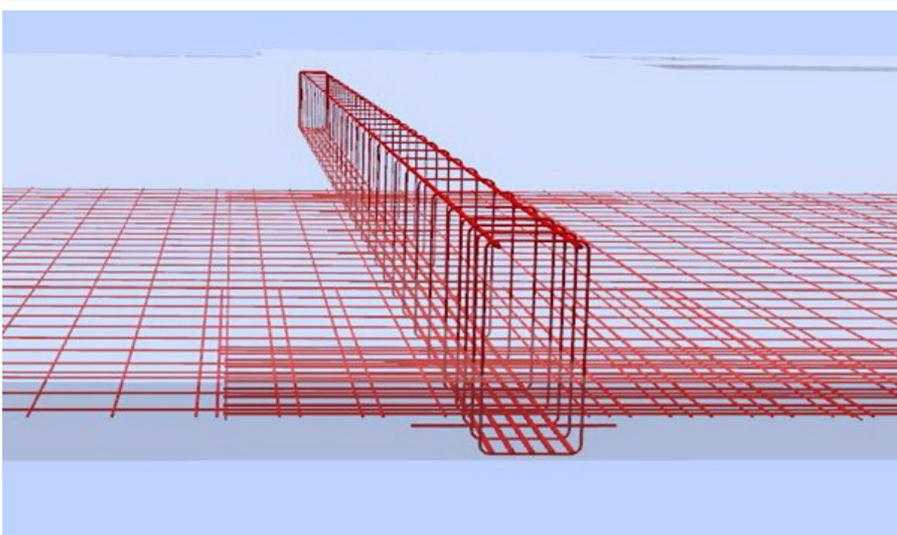


Рис.6 Сборка неполного пространственного каркаса балки (ригеля) без установки распределительной арматуры

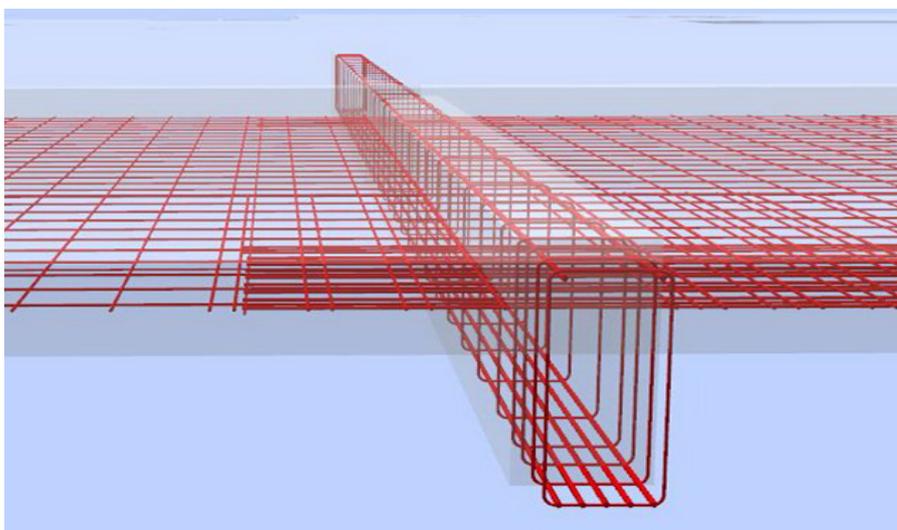


Рис.7 Установка неполного пространственного каркаса балки (ригеля) в проектное положение

Соединительные элементы для строительной арматуры (муфты)

Аналогичная продукция иностранных поставщиков стоит в 2 раза дороже. Количество механических соединений арматурных стержней на одном блоке АЭС ВВЭР-ТОИ составит минимум 500 тыс. штук. Механическое соединение состоит из 1 муфты и 2-х арматурных стержней с резьбой.

Затраты на приобретение оборудования для изготовления муфт составят порядка 5 млн. руб. Для производства 500 тыс. муфт при двухсменной работе в течение 2-х лет – срок монтажа армокаркасов, потребуется приобретение 2-х комплектов оборудования стоимостью 10 млн. рублей. Для обеспечения потребности в резьбовых арматурных стержнях на 1 блок АЭС ВВЭР-ТОИ потребуется 10 станков для нарезки резьбы.

Затраты на приобретение 1 станка для нарезки резьбы, (станок модель (ZL40), для нарезания конической резьбы на строительной арматуре - производство КНР), составляют 360 тыс. рублей (затраты за 2012 год). Следовательно, 10 станков для нарезки резьбы обойдутся в 3600 тыс. руб. В течение одного года будет изготовлено 250 тыс. муфт (таблица №2). Себестоимость производства муфт составит 24 600 тыс. руб. (13 600 тыс. руб. + 21 000 тыс. руб. оплата труда и прочие расходы).

В настоящее время аналогичные станки фирмы «Eriko» работают на строительстве НВАЭС. При поставке станков по ценам сравнимым с импортными, прибыль очевидна.

Монолитные перекрытия с пустотными элементами

Монолитные железобетонные конструкции с пустотными элементами применяются в перекрытиях и фундаментных плитах с двухосной схемой распределения напряжений.

Монолитные железобетонные конструкции с пустотными элементами применимы в любых монолитных железобетонных перекрытиях в диапазоне поперечного сечения от 20 см и выше, наиболее эффективны в большепролетных перекрытиях с расстоянием между опорами более 12 метров. Пустотообразующие элементы заменяют поддерживающие каркасы верхнего слоя при рулонном армировании по технологии ТДА. Монтаж пустотных элементов на опалубке перекрытия производится в соответствии с рабочими чертежами проекта, после монтажа нижнего слоя перекрытия выполненного по технологии армирования. Пустотные элементы – кессоны фиксируются в монтажном положении закладными деталями из

арматуры, которые также являются элементом армирования верхнего слоя перекрытия. После фиксации пустотных элементов, поверх кессонов производится монтаж верхнего слоя армирования. При этом кессоны служат опорными элементами верхнего слоя арматуры (рисунок 14).

Дополнительным преимуществом представленной технологической схемы, является минимизация вертикального армирования перекрытия, практически не участвующего в расчете перекрытия и в традиционной системе армирования служащего для фиксации верхнего слоя горизонтальной арматуры. Минимизация вертикального армирования перекрытия дополнительно позволит экономить до 15 % арматуры при производстве работ по технологии дискретного армирования.

Для обеспечения проектных характеристик возможно дополнительное размещение арматуры по краям собранной системы сотовых пустотных элементов на опалубке перекрытия.

Бетонирование производится в два этапа, где на первом этапе бетон подается в опалубку и вибрируется до уровня специальной отметки конструктивно предусмотренной в каждом кессоне на расстоянии 2-3 см от края кессона. Таким образом, обеспечивается равномерное распределение бетона внутри кессонов и обеспечение защитного слоя бетона над всей поверхностью нижнего слоя армирования. Затем, после начала схватывания бетона, производится второй этап окончательного бетонирования по традиционной схеме.

При увеличении расчетной нагрузки на плиту перекрытия, рекомендуется увеличивать диаметр арматуры нижнего слоя армирования.

В соответствии с расчетной моделью определяются зоны наибольших напряжений вокруг вертикальных несущих конструкций. В остальных участках перекрытия, где бетон не испытывает значительных сжимающих напряжений, возможно размещение наших пустотных элементов. То есть кессоны располагаются в зонах с минимальными нагрузками, где плита испытывает минимальные сжимающие напряжения.

При совместном использовании всех трех компонентов технологии дискретного армирования, их технико-экономические преимущества усиливаются.

Планируется возможность применения пустотных элементов в монолитных железобетонных перекрытиях, что позволит сократить расходы бетона. Планируется приобретение экструзионно-выдувного автомата одноручьевого ЭВА

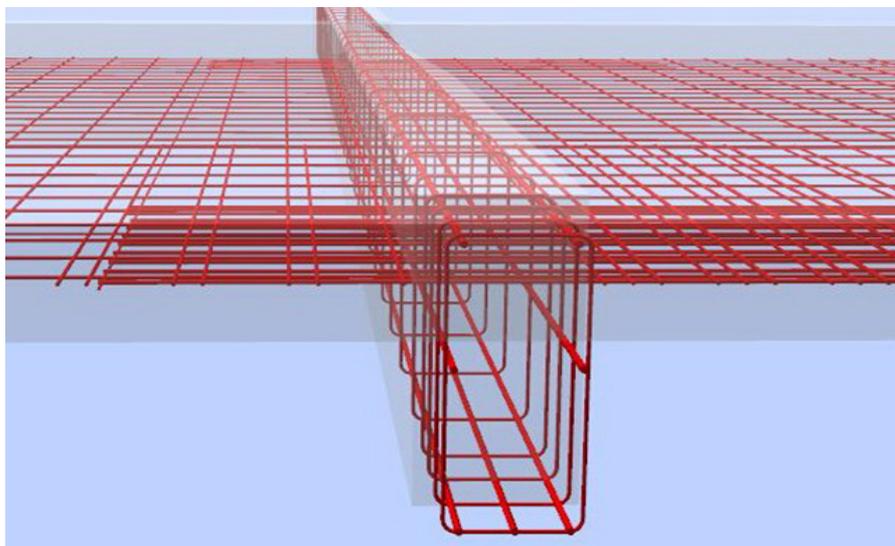


Рис.8 Окончательная сборка пространственного арматурного каркаса балки (ригеля)

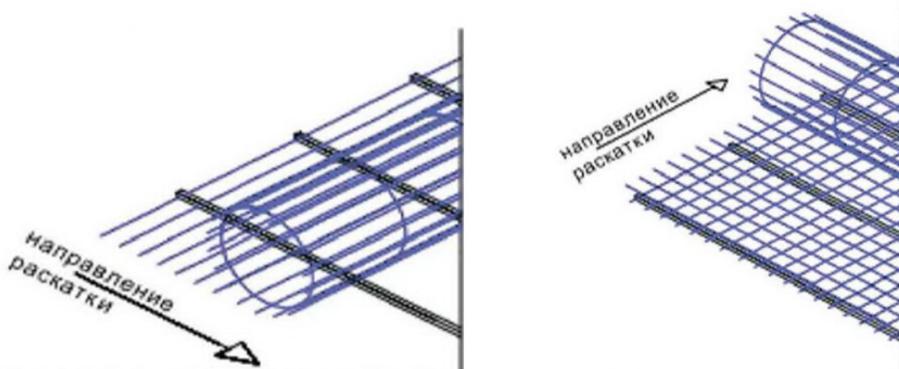


Рис.9 Основной принцип монтажа элементов рулонного армирования

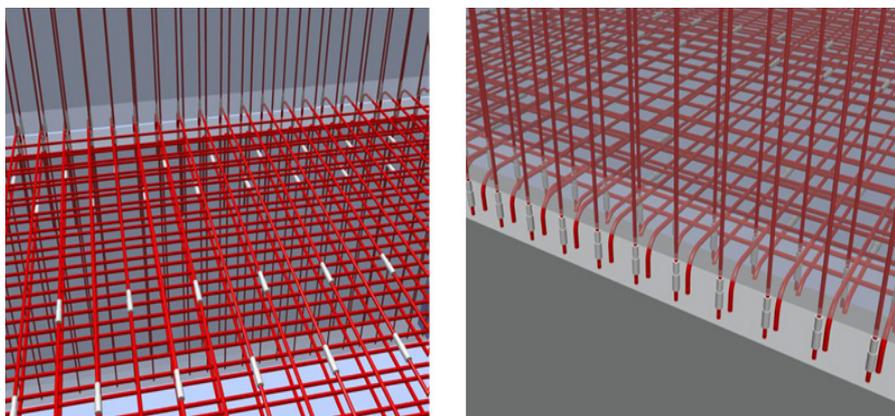


Рис.10 Характерные узлы применения механических соединений (муфт)

ZDL100 и дополнительного оборудования для производства кессонов, общая стоимость покупки которых составит 489 630 \$ (14 688 900 руб.). (Рисунок 15,16,17)

Для строительства зданий АЭС потребуются 11 992 кессонов, так как общая площадь перекрытий под кессоны составит Скекссон = 3389 м² (20% от общей площади перекрытий Собщ = 16 945 м²). Общая площадь перекрытий включает в себя следующие перекрытия: НВОА-ЭС – 2 с энергоблоками №1 и №2 (здание UBA), перекрытие для здания переработки и хранения радиоактивных отходов (UKS), перекрытия для здания санитарно-бытового корпуса зоны контролируемого доступа (здание UYB), перекрытия ЛЕН АЭС-2 в здании турбины на отметке -0,100 (здание UMA).

Цена реализации одного кессона 200 руб. вкл. НДС (164 руб. без НДС), таблица №3. Расходы по изготовлению одного станка приняты равным цене его приобретения 14 688 900 руб.

Также для производства необходимы вторичные полимерные гранулы СТРЕЙЧ экструзионные, натурального цвета ПТР 2.0 предполагаемая стоимость 31 руб./кг, т.е. 31 000 руб. за тонну. Вес одного кессона 1,5-2кг.

Следовательно, для изготовления 11,9 тыс. кессонов (23 984 кг = 23,984 тонн) потребуется 23,984 тонн полимерных гранул, т.е. 743,5 тыс. руб. Общая себестоимость производства кессонов составит 17 431 тыс. руб. (оплата труда и прочие расходы в том числе). В 2014г. себестоимость составит 1 931 тыс. руб. Таким образом, в 2013г. идет процесс инвестирования производства кессонов, процесс постепенной окупаемости начинается уже с 2013г.

Значительную долю в структуре затрат в строительной отрасли занимает оплата труда. Следовательно, снижение трудоемкости строительного-монтажных работ, рост производительности труда и сокращение численности персонала — одна из актуальных задач снижения затрат производства. Это можно осуществить за счет механизации производства, разработки и применения прогрессивных, высокопроизводительных технологий (например, увеличения сборности строительства). Важнейшее значение для повышения производительности труда имеет применение передовых методов и приемов труда.

Таким образом, экономия ресурсов и их рациональное использование имеет большое значение. При внедрении технологии дискретного армирования железобетонных перекрытий это достигается, главным образом, за счет усовершенствования технологий производства и применения ресурсосберегающих технологий.

		2014
Объем производства	тонн	13 000
Цена реализации	тыс. руб.	41
Выручка	тыс. руб.	533 000
Себестоимость продукции (без амортизации)	тыс. руб.	455 000
Валовая прибыль	тыс. руб.	78 000
Налог на прибыль, 20 %	тыс. руб.	15 600
Чистая прибыль	тыс. руб.	62 400
Рентабельность по чистой прибыли	%	13,7 %
Капитальные вложения	тыс. руб.	40 000

Таблица 1. Финансовые показатели производства ковров армирования 2014 г.

		2014
Объем производства	тыс. шт.	250
Цена реализации	руб/шт	250
Выручка	тыс. руб.	62 500
Себестоимость производства муфт	тыс. руб.	34 600
Валовая прибыль	тыс. руб.	27 900
Налог на прибыль	тыс. руб.	5 580
Чистая прибыль	тыс. руб.	22 320
Рентабельность по чистой прибыли	%	64,5

Таблица 2. Финансовые показатели производства муфт
На примере 1 блока АЭС

		2013	2014
Объем производства	тыс. шт	11,9	11,9
Цена реализации	руб/шт	200	210
Выручка	тыс. руб.	2 398	2 518
Себестоимость производства муфт	тыс. руб.	17 431	1 931
Валовая прибыль	тыс. руб.	- 13 033	587,3
Налог на прибыль	тыс. руб.	-	117,4
Чистая прибыль	тыс. руб.	-	469,8
Рентабельность по чистой прибыли	%	-	24,3

Таблица 3. Финансовые показатели производства пустотных элементов (кессонов) для монолитных железобетонных перекрытий, 2013 -2014 гг.



Рис 11. Станок для нарезания конической резьбы на строительной арматуре

Рис.12 Пустотные элементы (кессоны) для монолитных железобетонных конструкций

Рис.13 Экструзионно-выдувной автомат одноручьевой ЭВА ZDL100



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- РД ЭО 0657-2006 «Положение по применению механических соединений арматуры для железобетонных конструкций зданий и сооружений Атомных станций». ФГУП концерн «Росэнергоатом» Москва 2006 г. – 48 стр.
 СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах». Москва 2011 г. - 83 стр.
 СП 52-103-2007 «Железобетонные монолитные конструкции зданий». Москва 2007 г. - 18 стр.
 СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры». Москва 2004 г. - 71 стр.
 Зинева Л. Справочник инженера-строителя М.: Стройиздат 2004 г. — 544 стр.

Мониторинг технического состояния строительных конструкций, фундаментов и оснований объектов использования атомной энергии

Авторы: Болдырев Г.Г., Живаев А.А.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, ООО «НПП «Геотек»

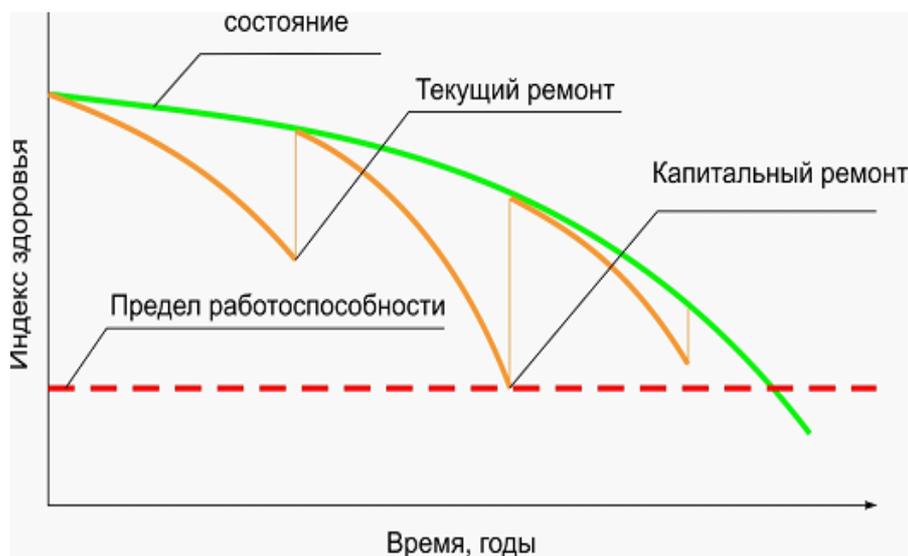


Рис 1. Схема оценки работоспособности конструкции

Мониторинг технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений выполняется в настоящее время, как в России, так и в других странах, преимущественно, путем их визуального осмотра и необходимых локальных инструментальных измерений. Как правило, в зависимости от вида объекта, визуальный мониторинг выполняется по списку один или два раза в год, в соответствии с правилами нормативных документов. Используя результаты мониторинга, разрабатывается комплекс мероприятий по ремонту, замене или усилению элементов конструкций.

В связи с совершенствованием измерительных систем, включая датчики различного назначения, в последнее время все чаще стали проводить постоянный или непрерывный мониторинг технического состояния строительных конструкций с контролем нормативных параметров, определяющих прочность и деформируемость конструкций [1,2,3]. Стало возможным назначать ремонт конструкций не по списку, как в первом случае, а по их фактическому состоянию. Это приводит, как правило, к увеличению межремонтных сроков

при той же безопасности конструкций. Стоимость затрат на обследования уменьшается, а надежность увеличивается.

Для определения потребности ремонта используется график изменения индекса «здоровья» конструкции (например, прогиб фермы или прочность материала) и характер его изменения во времени (рис. 1). Индекс «здоровья» является комплексной характеристикой, значение которой зависит от вида конструкции, материала, вида нагрузок и цели мониторинга.

С целью выполнения подобной процедуры разрабатываются автоматизированные системы мониторинга конструкций, называемые часто как системы мониторинга конструкций (СМК).

На рис. 2 показаны технологические платформы (ТП), применяемые при разработке СМК. Первая ТП была реализована в середине 70-х годов прошлого столетия, в том числе в СССР на ряде спортивных и промышленных объектов. СМК включает датчики (деформации, перемещения, акселерометры), которые проводами

соединялись с блоком измерений и регистрации данных. Анализ результатов измерений выполнялся «вручную» после выполненных измерений.

Второй уровень развития СМК возник после определенных технологических достижений в области создания измерительных и вычислительных систем в начале XXI века. Данные СМК включают различные датчики, объединенные в сеть, называемую сенсорной, и автоматические алгоритмы обработки данных измерений. Передача информации выполняется с использованием проводной или беспроводной связи.

В последние годы наблюдается тенденция совершенствования СМК в связи с переходом на третью технологическую платформу при создании информационно-измерительных систем. Проводятся исследования по созданию нового типа датчиков на основе применения наноматериалов. Датчиком теперь является не отдельный элемент (например, струнный датчик, тензометр), а конструкция в целом. В общем случае конструкция представляет собой сложную систему, включающую при ее изготовлении необходимый набор датчиков, и является сама измерительной системой. В будущем, в качестве датчиков, будет использоваться специальное покрытие («краска»), наносимая на ее поверхность. Подобные конструкции стали называть «умными».

ООО «НПП «Геотек» (<http://www.npp-geotek.ru/>) предлагает использовать элементы данной технологии при строительстве зданий и сооружений. Патент на изобретение № 2441110 от 27 января 2012.

На рис. 3 показан алгоритм оценки прочности материала конструкций при статическом действии внешних нагрузок. Слева показана традиционная процедура обследования конструкций, а справа с применением СМК. Данная процедура эффективна для контроля состояния отдельных элементов конструкций при известном начальном напряженном состоянии и известном наборе нормируемых контролируемых показателей (напряжение – деформация; прогиб, перемещение, угол наклона, крен).

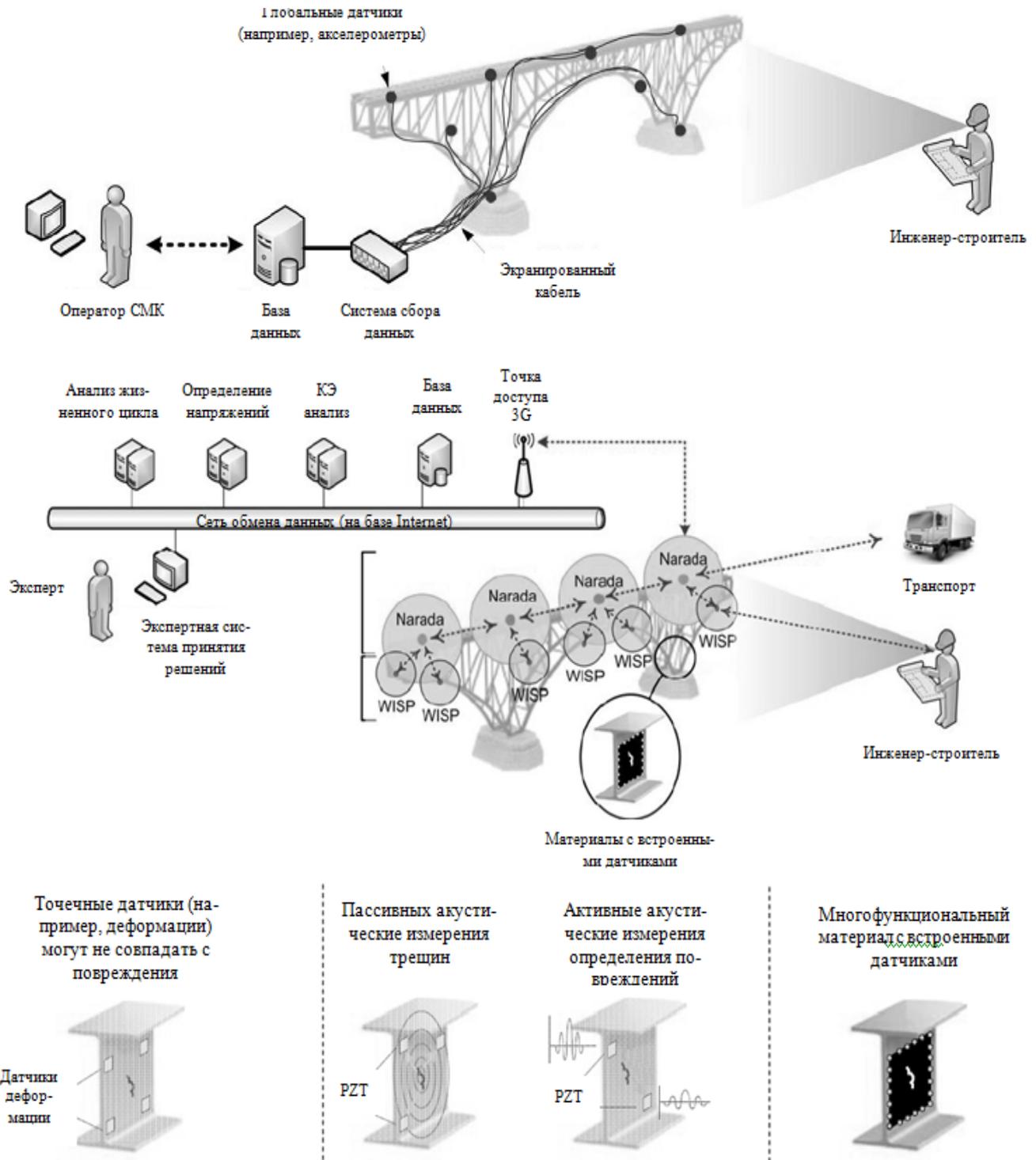


Рис 2. Этапы развития систем мониторинга

В качестве датчиков применяются: датчики температуры, датчики деформации, датчики перемещения и др. Подобные СМК можно классифицировать как информационно-измерительные системы, выполняющие локальные измерения и локальную (местную) оценку технического состояния элементов конструкций, а через нее оценку состояния всей конструкции. В случае действия динамических или сейсмических нагрузок приведенную процедуру применить достаточно сложно, поэтому оценку технического состояния конструкций выполняют с использованием модального анализа, исследуя изменения во времени форм колебаний, соб-

ственных частот и декремента затухания. Данная процедура показана на рис. 4 и эффективна при оценке обнаружения дефектов в массивных, протяженных конструкциях, таких как гидротехнические и портовые сооружения, сооружения ОИАЭ, мосты и др. Основным датчиком в данном случае является акселерометр, одно или трех координатный. Данный тип СМК можно классифицировать как информационно-измерительные системы, выполняющие глобальные измерения и общую оценку технического состояния всей конструкции.

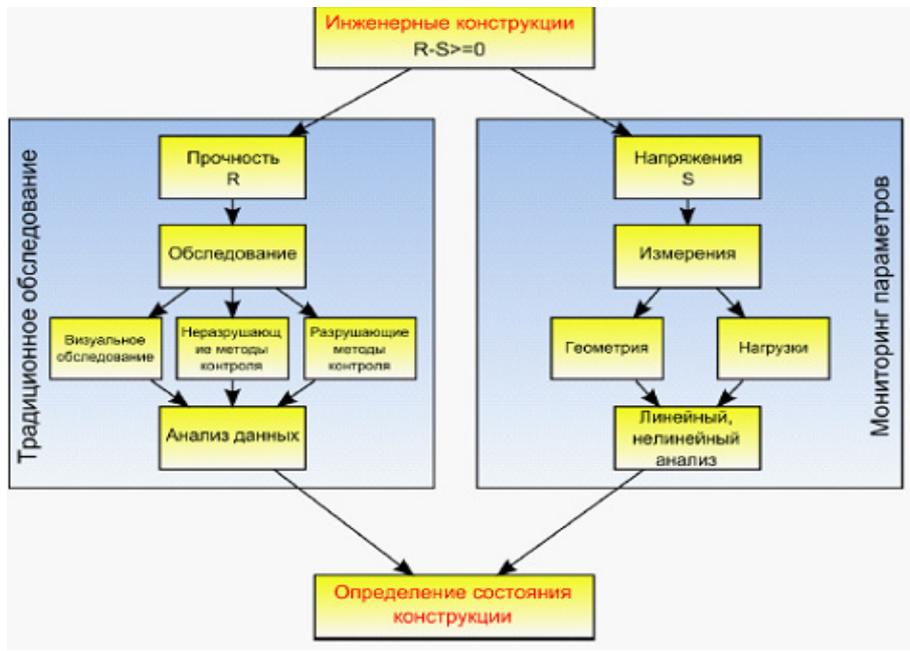


Рис.3 Алгоритм оценки технического состояния конструкций по прочности

В случае действия динамических или сейсмических нагрузок приведенную процедуру применить достаточно сложно, поэтому оценку технического состояния конструкций выполняют с использованием модального анализа, исследуя изменения во времени форм колебаний, собственных частот и декремента затухания. Данная процедура показана на рис. 4 и эффективна при оценке обнаружения дефектов в массивных, протяженных конструкциях, таких как гидротехнические и портовые сооружения, сооружения ОИАЭ, мосты и

др. . Основным датчиком в данном случае является акселерометр, одно или трех координатный. Данный тип СМК можно классифицировать как информационно-измерительные системы, выполняющие глобальные измерения и общую оценку технического состояния всей конструкции. После обнаружения возникших дефектов в отдельных областях конструкций выполняется локальный мониторинг с использованием СМК первого уровня или традиционных методов обследования и инструментальных измерений.

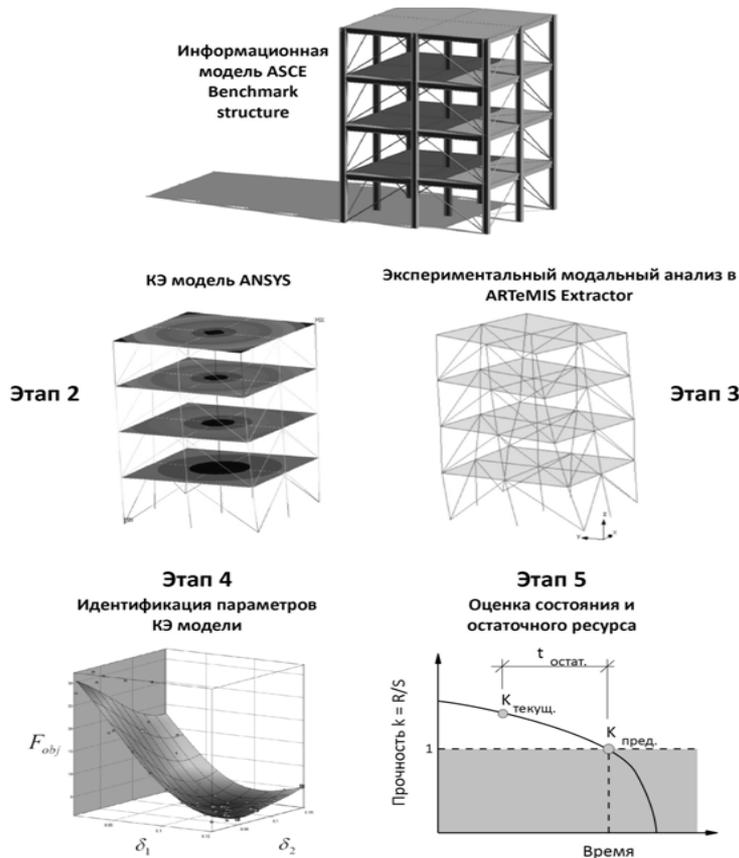


Рис.4. Пример применения комплексной технологии мониторинга строительных конструкций

При проведении глобального мониторинга, схема оценки технического состояния конструкций включает сравнение динамических характеристик (формы колебаний конструкции и соответствующие собственные частоты) определенные численно (как правило, методом конечных элементов с применением программ Ansys, Abaqus и др.) и экспериментально (по измерениям ускорений колебаний с применением программы ARTeMIS Extractor и др.). Анализ изменения состояний во времени позволяет выявить дефекты, зарождающиеся в конструкциях. Пример реализации данной технологии показан на рис. 4 и включает пять этапов ее реализации:

1. Информационное моделирование (building information modeling - BIM).
2. Конечно-элементное моделирование (finite element modeling - FEM).
3. Инструменты экспериментального динамического анали-

за - модальный анализ (operational modal analysis - OMA), анализ собственных частот, анализ гармонических колебаний и др.

4. Идентификацию математической модели объекта по результатам натурных измерений.
5. Анализ данных измерений и оценка остаточного ресурса конструкций.

Для успешной реализации второго этапа рассматриваемой технологии, для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций зданий и сооружений и их оснований необходимо определить параметры (характеристики) материалов (грунт, бетон, сталь и др.), которые входят в модели материалов, применяемых в программах Ansys, Abaqus, Flac, Plaxis и др. Эти параметры предлагается определять с использованием измерительно-вычислительного комплекса АСИС и процедуры, которая запатентована. Патент на изобретение № 2404418 от 20 ноября 2010 г.

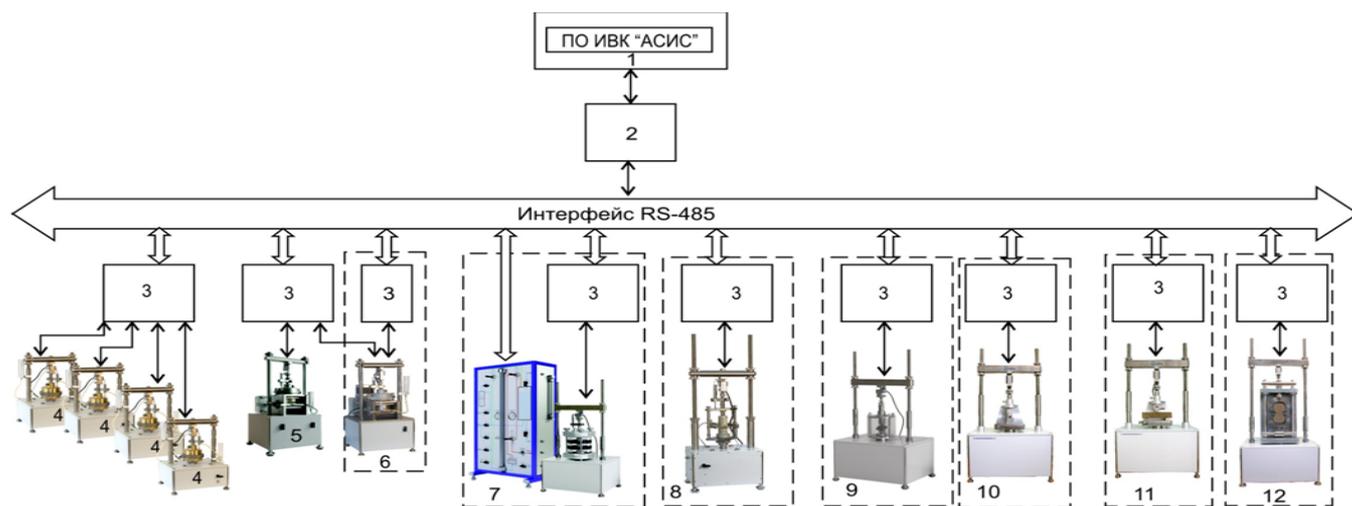


Рис. 5. Структурная схема измерительно-вычислительного комплекса АСИС:

1 – персональный компьютер; 2 – преобразователь интерфейса; 3 – блоки электронные; 4 – компрессионные приборы; 5–6 – приборы одноплоскостного сдвига; 7 – прибор трехосного сжатия; 8 – прибор одноосного сжатия; 9 – прибор одноосного растяжения; 10 – прибор для испытания материалов на растяжение раздавливанием; 11 – прибор для испытания призм на изгиб; 12 – прибор для испытания образцов на прямое растяжение

На рис. 6 приведена структурная схема системы мониторинга, разработанная в ООО «НПП «Геотек». СМК включает набор датчиков и регистраторов (ЭПА-1...ЭПА-н), информация с которых через интерфейс RS-485 (или иной интерфейс) передается на компьютер. Конфигурация сети датчиков и регистраторов, а также и обработка результатов измерений выполняются с использованием разработанной программы Geotek-SHM. Подобные СМК были установлены на конструкциях гимнастического комплекса в г. Пенза [1] и ледовой спортивной арене в г. Омск [2]. Проект подобной СМК разработан для Балаковской АЭС. Одной из сложных задач, которая пока еще не решена в полной мере, является контроль технического состояния паропроводов на атомных электростанциях. В последнее время для этой цели стали применяться информационно-измерительные системы включающие пьезодатчики. Пьезодатчики широко используются при проведении измерений по оценке скорости распространения акустических волн и обнаружения дефектов в конструкциях, в машиностроении и значительно менее в строительстве, из-за массивности конструкций. В последние годы были разработаны гибкие пьезодатчики, которые теперь можно размещать на сложных границах (например, галтель сварного шва). На рис. 7 показан пример примене-

ния сети из активных и пассивных пьезоэлементов, что позволяет локализовать зарождение дефектов на расстоянии до 300 мм между датчиками. Размещение по окружности двух трех пьезоэлементов с шагом 300-500 мм позволяет выявить зарождающиеся дефекты в трубопроводах и фланцевых соединениях. Например, изменение толщины стенки трубопровода или прослабление болтового соединения и изменения в состоянии прокладок.

Для реализации технологии глобального мониторинга в ООО «НПП «Геотек» разработан трехкоординатный модуль измерения ускорения колебаний от 0 до 100 Гц. Передача данных измерений выполняется с использованием проводной или беспроводной систем.

Для реализации технологии локального мониторинга разработаны два че-тырехканальных модуля, которые позволяют измерять деформации (струнные датчики) и углы наклоны (акселерометры по технологии MEMS). На рис. 8 показан пример применения СМК на гимнастическом центре в г. Пенза, где были установлены датчики деформации, (стальные тяжи затяжек и деревянные арки) разработанные на использовании эффекта Холла. Внизу показано влияние температуры на показания датчиков деформации.

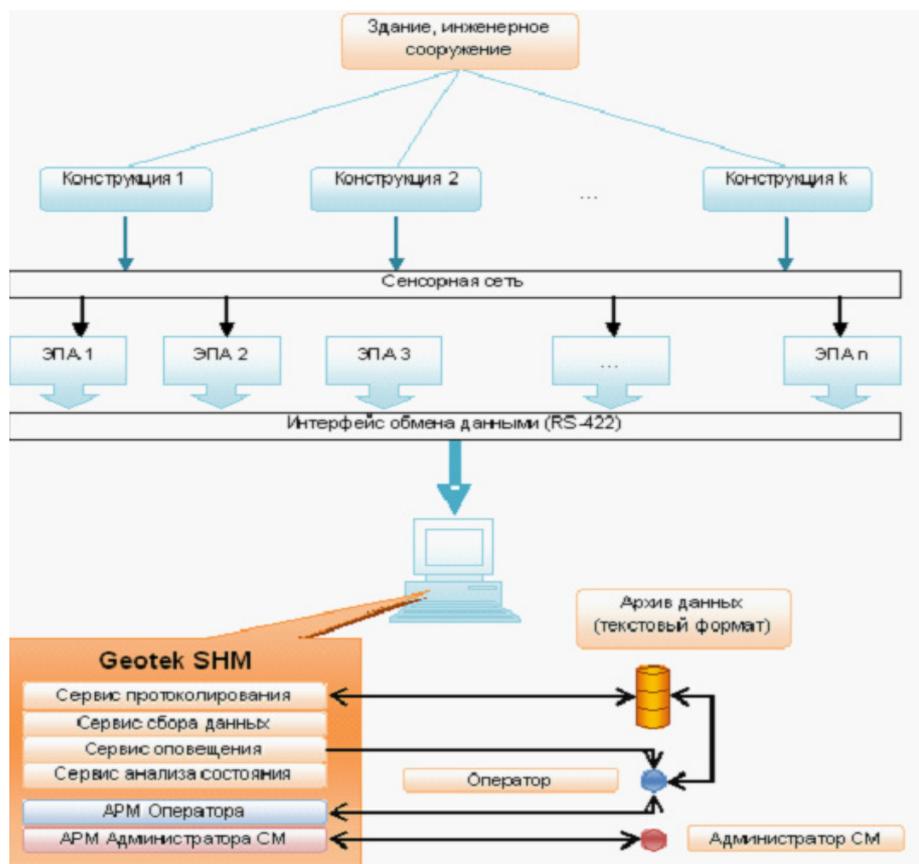


Рис. 6. Структурная схема СМК ООО «НПП «Геотек»

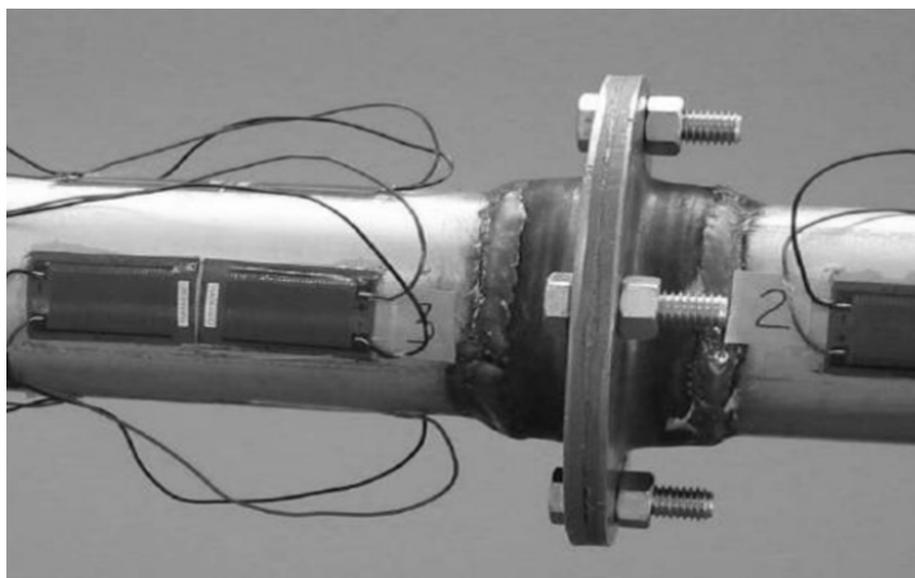


Рис. 6. Пример использования пьезодатчиков при обнаружении дефектов с использованием импеданс анализа

В конце 90 гг. [4,5,6] было предложено использовать явление электрического импеданса для нахождения поврежденных в элементах конструкций. Для этого используются гибкие или жесткие пьезоэлементы, сигнал с которых зависит от напряженного состояния в конструкции. Технология оказалась эффективной и дешевой и начинает применяться на практике.

В ООО «НПП «Геотек» для этой же цели был разработан модуль измерения смещения фазы при изменении напряженно-деформированного состояния конструкции.

Для контроля болтовых соединений, трубопроводов и усилий в канатах применяются СМК, которые используют измерение импеданса конструкции. Пример подобного анализа приведен на рис. 7, 9. На представленном рис. 9 наглядно видно изменение вычисляемых признаков (в данном случае результаты анализа главных компонент профилей фазы) от приложенного усилия. Подобные измерения выполнены в июле 2013 года на Ново-Воронежской АЭС в уровне консоли защитной оболочки. Результаты измерений будут представлены позже.

СМК включает набор различных датчиков, которые представляют собой сенсорную сеть с проводной передачей информации (требования надежности и безопасности), центральный сервер и систему анализа полученной информации. Состояние железобетонной оболочки контролируется с использованием глобальной технологии мониторинга (акселерометры). В необходимых местах возможна установка локальных датчиков деформации, наклона и температуры.

Контроль состояния защитной оболочки можно выполнить путем размещения на ее поверхности (внутренней или внешней) нескольких трехкоординатных акселерометров (не более 20), для анализа динамических характеристик, т.е. используя процедуру глобального мониторинга.

Пример использования глобального мониторинга показан на рис. 11, на котором представлены результаты модального анализа каркаса машинного зала Балаковской АЭС, соответствующие частоте 1,592 Гц. Расчеты выполнены с использованием программного комплекса ANSYS.

На рис. 12 показан фрагмент интерфейса рабочего места оператора из рабочего проекта СМК, разработанного в 2010 году ООО «НПП «Геотек» для машинного зала Балаковской АЭС. В проекте предусмотрен мониторинг за состоянием стальных ферм покрытия, колонн каркаса и фундамента турбоагрегата.

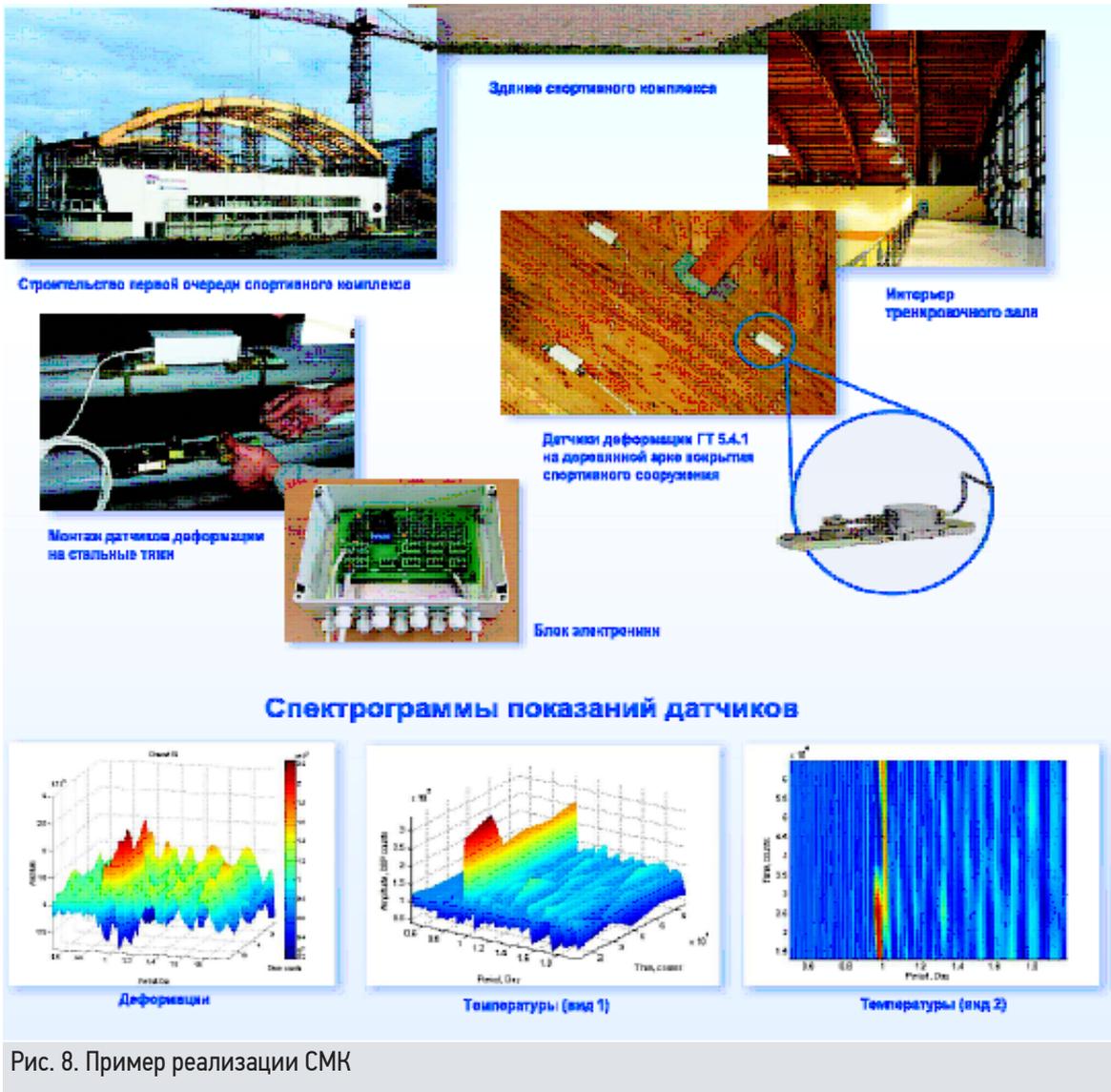


Рис. 8. Пример реализации СМК

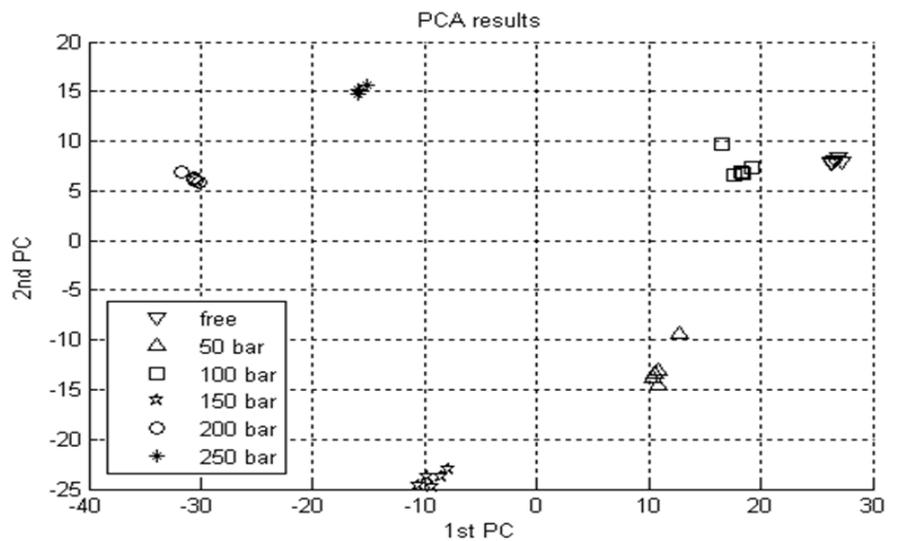
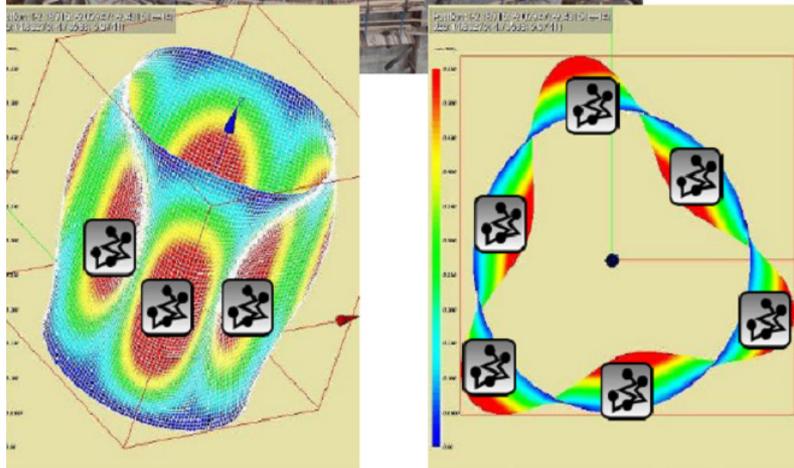
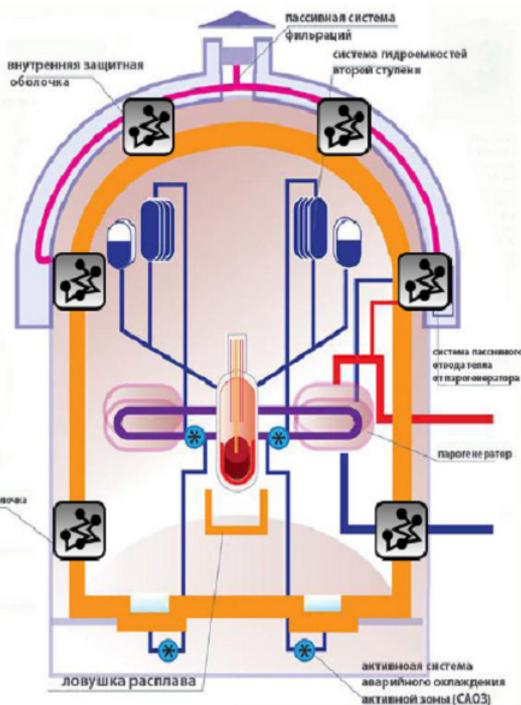


Рис. 9. Пример способа контроля усилия в канате: а – шайба, зажата в раме (имитация усилия от натяжения каната); б – миграция проекций на главные компоненты в зависимости от усилия в канате

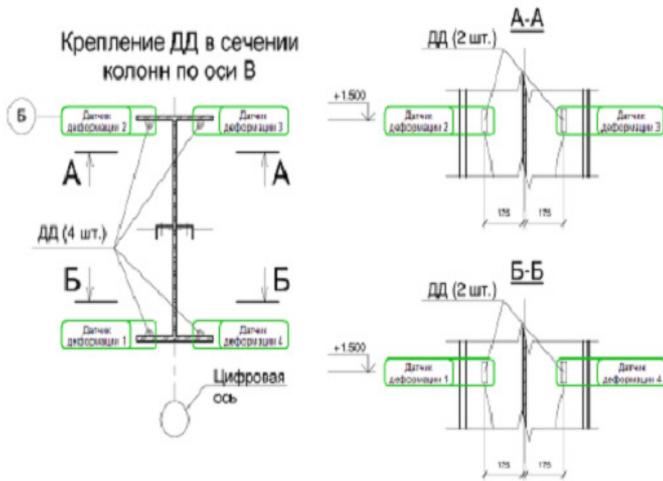


Первая собственная форма колебаний



Акселерометры на оболочке

Рис. 10. Использование глобальной системы мониторинга на защитной оболочке атомного реактора



Вкл	Датчик деформации 2	Вкл	Датчик деформации 3
Найти	Показание: -2.535 МПа	Найти	Показание: -2.535 МПа
Тренд	Температура: 37 С°	Тренд	Температура: 37 С°

Рис. 11. Фрагмент интерфейса рабочего места оператора

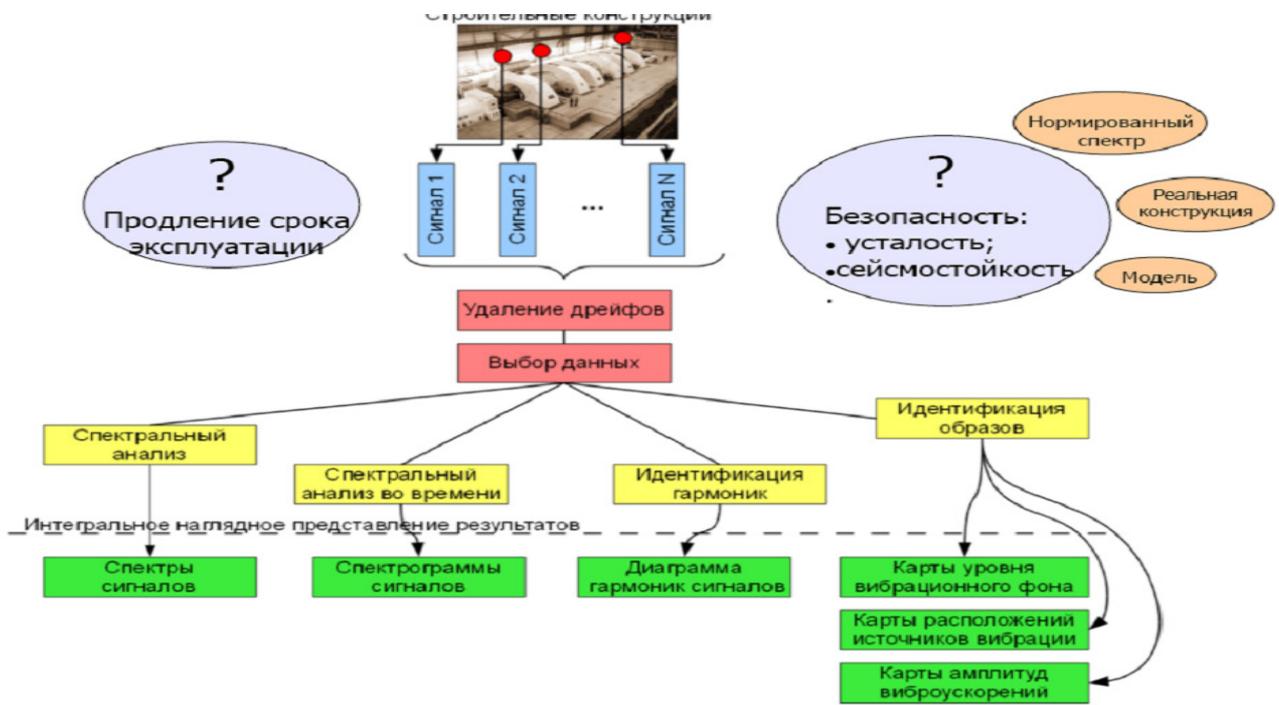


Рис. 12. Процедура анализа данных измерений виброускорений конструкций машинного зала АЭС

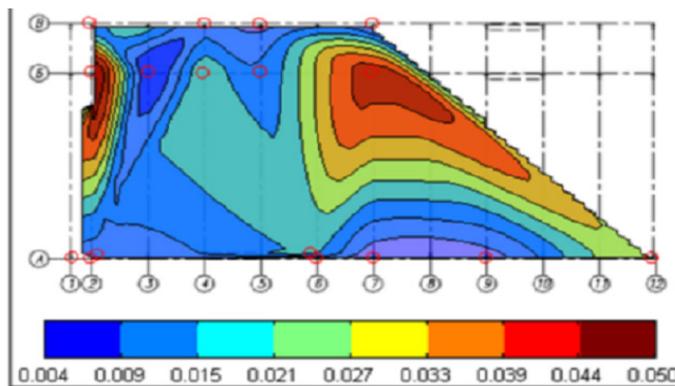


Рис. 13. Карта амплитуд виброускорений на нулевой отметке машинного зала АЭС

Заключение:

1. Для реализации СМК объектов использования атомной энергии в на-стоящий момент доступны различные технологические платформы, освоение и применение которых происходит в Российской Федерации.
2. Автоматизированные системы мониторинга позволяют выявлять по-требность в ремонте конструкций исходя из технического состояния указанных конструкций, а не по времени, что важно для технически сложных и особо опасных объектов, к которым относятся объекты использования атомной энергии.
3. При оценке технического состояния строительных конструкций целесообразно использовать комплексную технологию мониторинга, позволяющую не только определять техническое состояние, но и давать оценку остаточного ресурса конструкции.
5. Фактор неравномерности распределения виброускорений, следует учитывать при оценке остаточного ресурса каркаса и фундаментов несущих колонн ферм покрытия машинного зала.

Литература:

1. Boldyrev G.G., Zhivaev A.A. A System for Static and Dynamic Monitoring and Ice Sport Arena. Proceed. of the 8th Internat. Workshop on Health Monitoring, Stanford, USA, Ed. Fu-Kuo Chang, Vol. 1, 2011, pp. 378-385.
2. Boldyrev G.G., Valeev D.N., Idrisov I.H., Krasnov G.I. A System for Static Monitoring of Sports Center Structures. Proceedings of the 7th International Workshop on Structural Health Monitoring, Stanford, USA. Ed. Fu-Kuo Chang, Vol.1, 2009, pp. 374-382.
3. Wenzel H. Health Monitoring of Bridges. Wiley & Sons Ltd, 2009, 652 p.
4. Liang C., Rogers C.A. Coupled Electro-Mechanical Analysis of Adaptive Material Systems-Determination of the Actuator Power Consumption and System Energy Transfer, J. Intel. Mat. Syst. Str. 5, 1994, pp. 12-20.
5. Park G., Sohn H, Farrar C.R. Overview of piezoelectric impedance-based health monitoring and path forward, Shock Vib. 35(6), 2003, pp. 451-463.
6. Giurgiutiu V., Rogers C. A. The electro-mechanical (E/M) impedance method for structural health monitoring and non-destructive evaluation, International Workshop on Structural Health Monitoring, Stanford University, CA, September 18-20, 1997, pp. 433-444.

Внедрение технологии КЭДО-PDMS как основа для повышения эффективности и расширения профиля проектно-изыскательских услуг

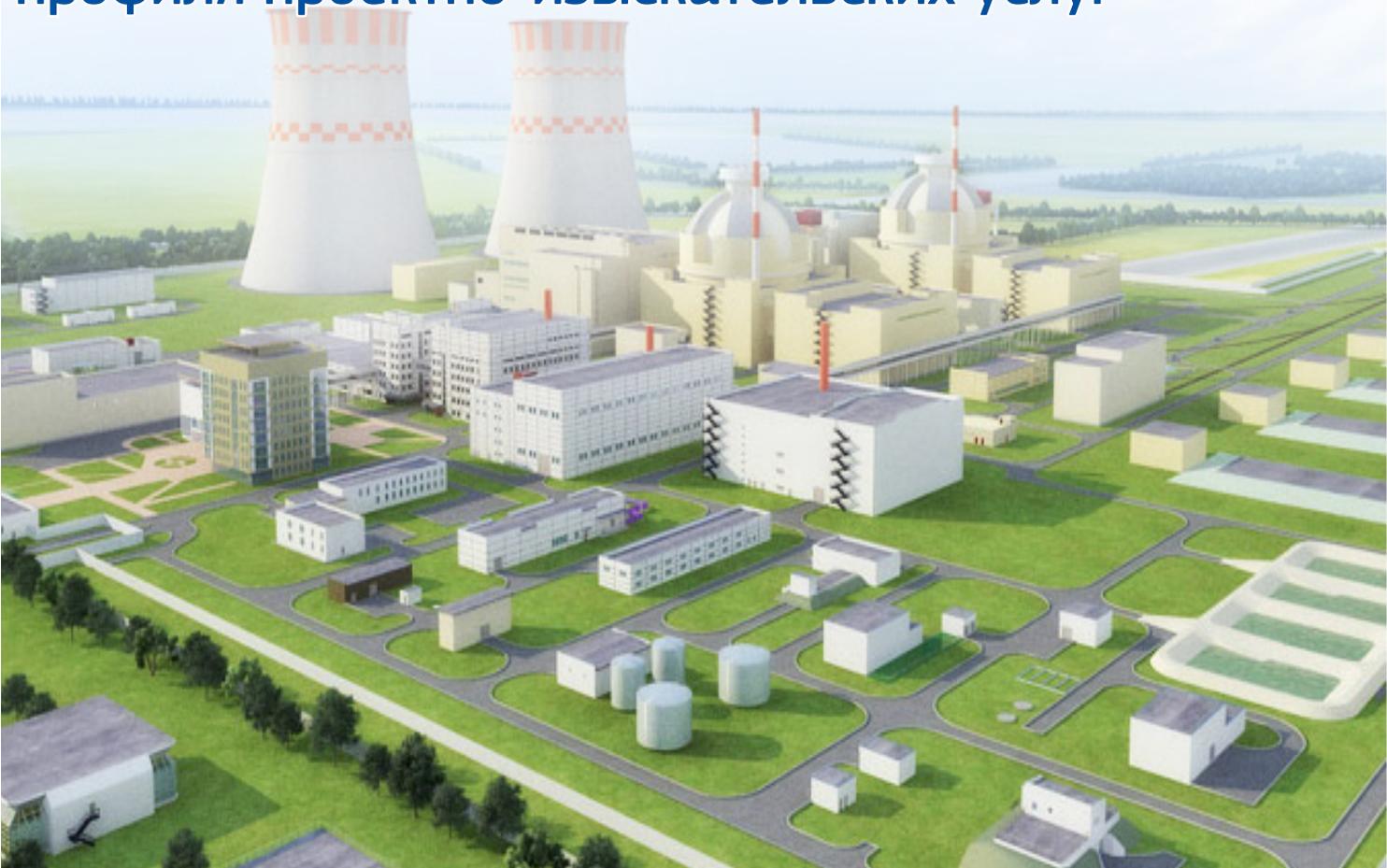


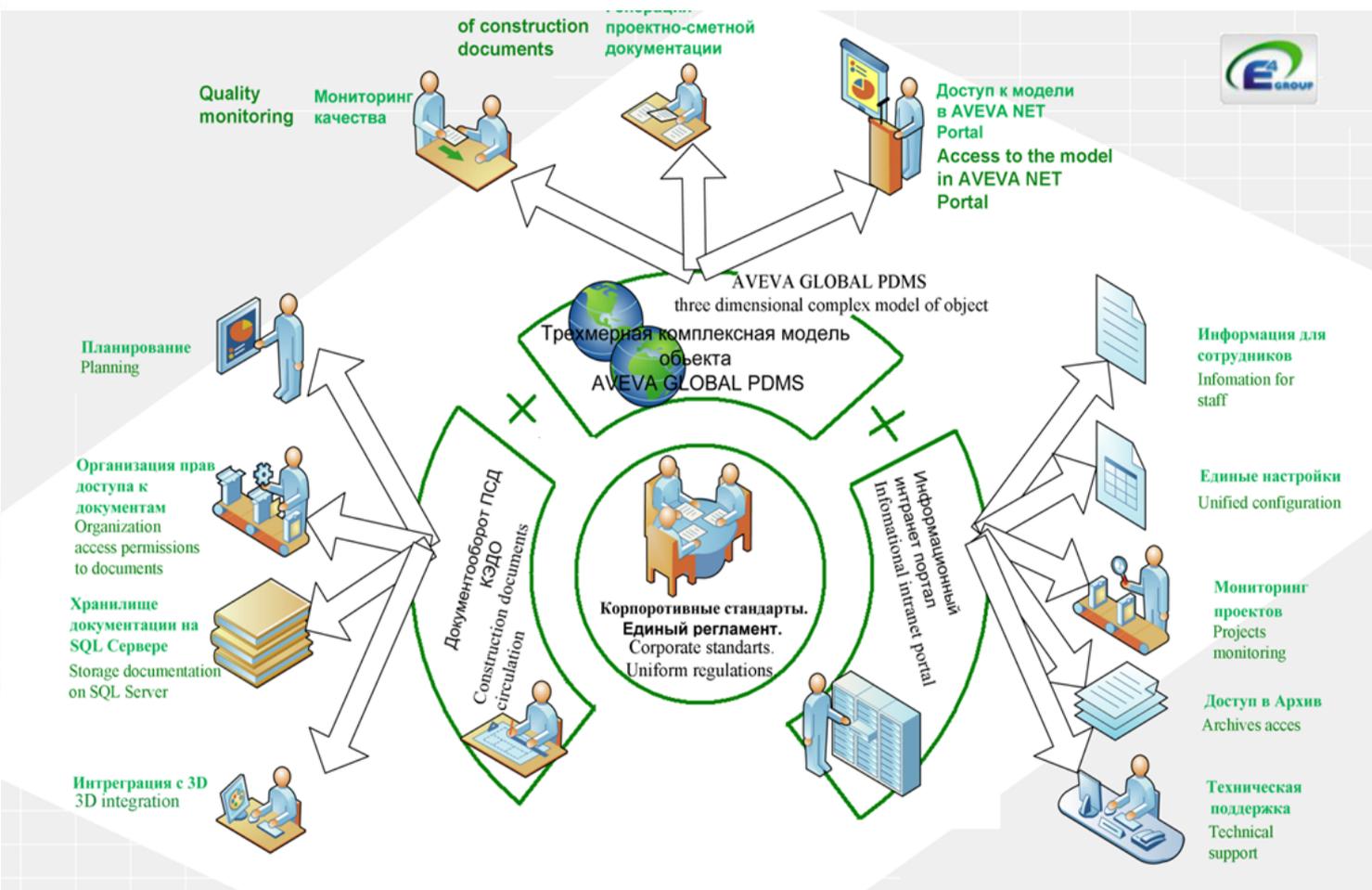
Фото: www.atomic-energy.ru

Тема номера

Внедрение технологии трехмерного проектирования даже в одном проектом институте задача не простая, так как требуется реинжиниринг привычных бизнес процессов и проведение масштабного переучивания персонала. В ОАО «Группа Е4» стояла задача внедрения новой технологии сразу для 6-и крупных проектных институтов численностью от 180 до 630 человек. Одну из самых важных ролей в этом процессе играет административный ресурс, который должен действовать непрерывно и в течении длительного времени.

В ОАО «Группа Е4» стояла задача внедрения новой технологии сразу для 6-и крупных проектных институтов численностью от 180 до 630 человек. Одну из самых важных ролей в этом процессе играет административный ресурс, который должен действовать непрерывно и в течении длительного времени, а вторым по важности моментом была необходимость разработки единых корпоративных стандартов и подготовка инструмента для их обязательного использования и мониторинга. Таким инструментом стал КЭДО – Конструкторский Электронный ДокументоОборот. КЭДО позволил создать единую систему планирования работ по выпуску ПСД на основе заложенной в нем единой системы кодирования всех проектных данных: код контракта, код здания и сооружения, код комплекта, включая номер комплекта, его

марку, вид работы и номер ревизии. Эта иерархическая система кодирования с одной стороны позволяет использовать систему кодирования KKS (Kraftwerk- Kennzeichensystem), которая наиболее распространена в России, а с другой полностью соответствует рекомендациям ГОСТ Р 21.1101 – 2009. Внедрение многих систем трехмерного проектирования в российскую практику были затруднены серьезными несоответствиями заложенной в них структуры модели и требованиями российских технических нормативных документов. В случае с AVEVA PDMS мы получили, практически, полное соответствие. Это дало нам возможность провести глубокую интеграцию системы КЭДО, базирующейся на ГОСТ Р 21.1101 – 2009 с системой трехмерного проектирования AVEVA Global PDMS.



В ОАО «Группа Е4» стояла задача внедрения новой технологии сразу для 6-и крупных проектных институтов численностью от 180 до 630 человек. Одну из самых важных ролей в этом процессе играет административный ресурс, который должен действовать непрерывно и в течении длительного времени, а вторым по важности моментом была необходимость разработки единых корпоративных стандартов и подготовка инструмента для их обязательного использования и мониторинга. Таким инструментом стал КЭДО – Конструкторский Электронный ДокументоОборот. КЭДО позволил создать единую систему планирования работ по выпуску ПСД на основе заложенной в нем единой системы кодирования всех проектных данных: код контракта, код здания и сооружения, код комплекта, включая номер комплекта, его

систему кодирования KKS (Kraftwerk- Kennzeichensystem), которая наиболее распространена в России, а с другой полностью соответствует рекомендациям ГОСТ Р 21.1101 – 2009. Внедрение многих систем трехмерного проектирования в российскую практику были затруднены серьезными несоответствиями заложенной в них структуры модели и требованиями российских технических нормативных документов. В случае с AVEVA PDMS мы получили, практически, полное соответствие. Это дало нам возможность провести глубокую интеграцию системы КЭДО, базирующейся на ГОСТ Р 21.1101 – 2009 с системой трехмерного проектирования AVEVA Global PDMS. В нашей технологии связаны между собой три инструмента AVEVA Global PDMS – КЭДО – информационный Интранет портал на основе разработанных корпоративных стандартов.

На рисунке представлена диаграмма, иллюстрирующая взаимодействие этих трех инструментов и их функционал. Внешне диаграмма может напомнить структуру ядерного заряда из школьных учебников по физике и на самом деле при соединении этих инструментов в единую технологию мы получили синергетический эффект.

КЭДО – как документооборот реализует безбумажную технологию прохождения документации в проектом институте, используя единое хранилище проектной документации в формате SQL, меняя, по мере прохождения, права доступа к документации всех участников процесса.

КЭДО – как система планирования реализует возможность ГИПу разрабатывать графики выпуска документации со встроенной системой кодирования и ГИП сам не вписывает тот или иной код, а выбирает его из базы КЭДО, что позволяет каждому элементу кода выступать как уникальному поисковому параметру при дальнейшей работе с документом. Для планирования работ в отделе и рабочей группе в КЭДО созданы инструменты для реализации всего этапа планирования от плана работы по объекту до наряд-заказа отделу на месяц и личному плану каждого сотрудника. При этом КЭДО ведет контроль фактических трудозатрат на каждый лист комплекта, далее на комплект, далее на сооружение и далее на весь контракт, сверяя фактические и плановые или директивные трудозатраты.

КЭДО – как «административный ресурс» при внедрении системы трехмерного проектирования работает как направляющий вектор, заставляя исполнителя выполнять требования регламентов, а при отклонении от них, ставит в известность его и его руководителя, а в отдельных случаях физически не дает ему возможности отклоняться от корпоративного стандарта. Вся базовая информация из КЭДО автоматически попадает в атрибутивную базу трехмерной модели, мало того при регистрации в КЭДО автоматически формируется структура трехмерной модели и предоставляется возможность исполнителю в эту структуру войти именно с его правами. Часть контрольной информации из трехмерной модели попадает в КЭДО для использования в мониторингах.

Трехмерная модель, в нашей технологии, не является конечным продуктом, а является инструментом для получения документации по всем проектным дисциплинам. Понятно, что каждый инструмент имеет определенные преимущества и недостатки и, для разных проектных дисциплин и дает разную эффективность для снижения трудозатрат. В то же время наличие единой и всегда актуальной модели дает несомненный выигрыш для всего в целом проекта генерально-подрядка – снижение издержек на монтаже, уменьшение расхода вспомогательных материалов, «горячая» замена оборудования по проведенным конкурсам и пр. Для практической реализации этого преимущества в технологии КЭДО – AVEVA Global PDMS существует автоматическая проверка соответствия выпускаемого документа и состояния трехмерной модели, как по времени изменения, так и по расположению графических элементов на чертеже и в модели. В этом случае работает технология LOCK – UNLOCK, то есть при изменении статуса чертежа на «готов» автоматически закрывается эта часть модели и происходит LOCK, а при необходимости выполнения ревизии чертежа происходит UNLOCK, далее процедура повторяется. Таким образом, документация, направляемая на площадку, всегда соответствует состоянию модели.

Информационный Интранет портал в технологии играет роль базы, в которой собраны все инструкции, регламенты, архив, настройки, база знаний по трехмерным моделям и предоставлена возможность реализации «облачных» вычислений для получения различной статистики для мониторинга

хода выполнения проекта. Файловый архив ПСД собирается не только на архивном сервере проектного института, но, после безбумажного прохождения документа в КЭДО, он автоматически попадает на архивный сервер в ЦОД Е4.

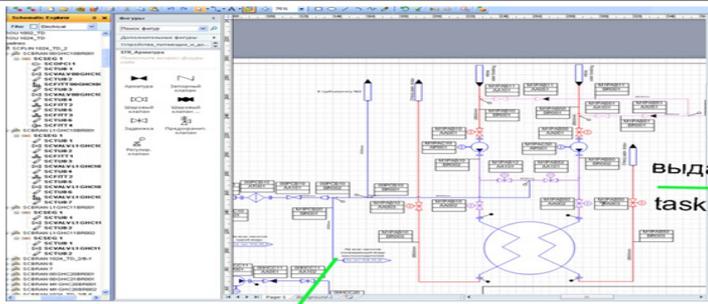
Наряду с архивом на информационном Интранет портале, который является файловым хранилищем, существует и интеллектуальный архив на AVEVA NET Portal. На этом портале публикуется трехмерная модель и связанная с ней системой кодирования проектно сметная документация. Доступ к этому ресурсу может быть предоставлен заказчику, дирекции на площадке, авторскому надзору, техническому агенту заказчика и пр. По модели можно найти документацию и перейти к её просмотру, а по документации перейти к модели и увидеть элементы чертежа как на общей модели, так и в отдельном трехмерном образе. Реализация этой возможности стала реальностью только при использовании КЭДО с безусловной идентификацией по уникальному коду выбранному в базе КЭДО.

Освоение технологии КЭДО-PDMS в ТОМСКТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТЕ (ТомскТЭПе)

На ранних стадиях внедрения технологии КЭДО-PDMS усилия были сосредоточены на изучении и освоении, того, что уже было наработано на то время разработчиками. Помимо постепенного реинжиниринга процессов, издавались выпуски журнала о достижениях сотрудников в среде КЭДО-PDMS. В выпусках активное участие принимали профильные специалисты проектировщики. Это было сделано с целью, чтобы пресечь искажение информации и создать более благоприятные условия для освоения современных технологий проектирования.

Процесс освоения продолжается и в данное время, т.к. уровень автоматизации системы под нужды проектирования можно постоянно наращивать. Все вопросы по оптимизации сотрудники ТомскТЭПа решают через ДКП Е4. Это очень важный момент, т.к. своих специалистов САПР в ТомскТЭПе нет. На данный момент оптимизация касается электротехнических отделов. С этой целью в ТомскТЭПе осваиваются профильные комплексы Electrics 3D и E3 series. В тестовом режиме взаимодействие PDMS с данными комплексами, показало хорошее взаимодействие. Это позволяет говорить о среде PDMS не только как о едином информационном пространстве, но и рабочем плацдарме по выпуску проектной продукции. По архитектурной части действует оптимизация выполненная средствами PDMS, что позволяет получать профильную рабочую документацию. По строительной специальности в части КМ имеется как настройка выполненная средствами PDMS для получения рабочей документации, так и настроено взаимодействие с Advance Steel, что позволяет производить расчет и конструирование металлических сооружений, на основе геометрии выполненной в PDMS. Максимальный эффект автоматизации в PDMS настроен для трубопроводных специальностей. Но и здесь дела не стоят на месте. Относительно недавнее улучшение коснулось взаимодействия PDMS с расчетным комплексом АСТРА-НОВА. Прежде имелось только лишь взаимодействие с расчетным комплексом СТАРТ.

На объекте ТЭЦ в г. Советская Гавань ТомскТЭПом начал использоваться модуль Aveva Diagrams. Использование данного модуля позволяет выполнять моделирование технологической части в полном соответствии с технологическими схемами. На данное время Aveva Diagrams является полноценным рабочим инструментом и применим как для заданий смежным электротехническим отделам, так и для разработки Р.Д.



№	Тип оборудования	Обозначение	Тип привода	Производитель	Рабочие параметры			Положение, высота		Материал	Статус
					Скорость	DN, мм	Р _{раб} , атм	DN, мм	Монтажная		
1	Турбина	МТЛБД1	АК801	Получение	нет	200	140	300	нет	нет	803-200-3-01
2	Турбина	МТЛБД1	АК802	Получение	нет	200	140	300	254-5	нет	803-200-3-01
3	Турбина	МТЛБД1	АК803	Получение	нет	200	140	300	254-5	нет	803-200-3-01
4	Турбина	МТЛБД1	АК804	Получение	нет	200	140	300	нет	нет	803-200-3-01
5	Турбина	МТЛБД1	АК805	Получение	нет	200	140	300	254-5	нет	803-200-3-01
6	Турбина	МТЛБД1	АК806	Получение	нет	200	140	300	254-5	нет	803-200-3-01
7	Турбина	МТЛБД1	АК807	Получение	нет	200	140	300	254-5	нет	803-200-3-01
8	Турбина	МТЛБД1	АК808	Получение	нет	200	140	300	254-5	нет	803-200-3-01
9	Турбина	МТЛБД1	АК809	Получение	нет	200	140	300	254-5	нет	803-200-3-01
10	Турбина	МТЛБД1	АК810	Получение	нет	200	140	300	254-5	нет	803-200-3-01

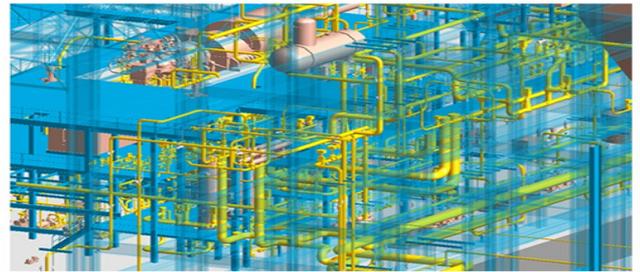
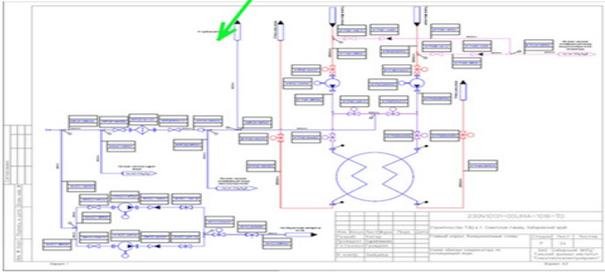
выдача заданий
task description
issue

obtaining detailed
documentation

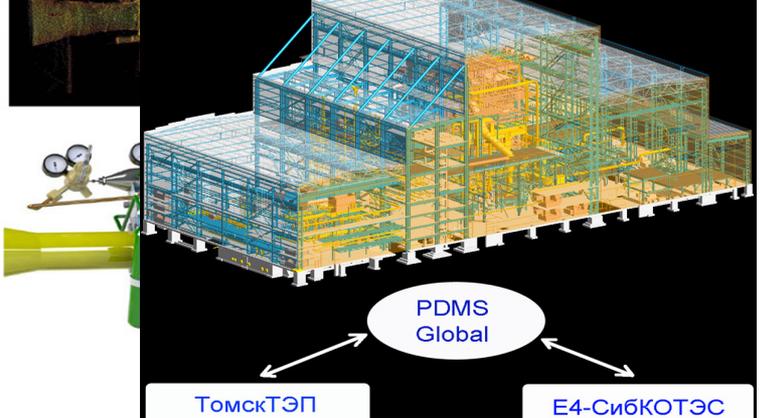
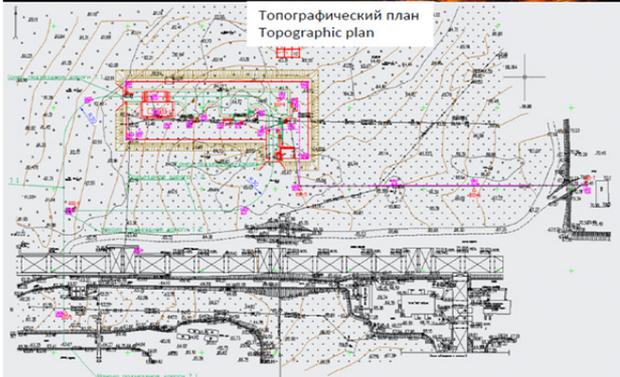
получение рабочей
документации

взаимодействие с
моделью

cooperation
with the model



Томский политехнический университет «Центр лазерных технологий»
Tomsk Polytechnic University «Laser Technology Center»

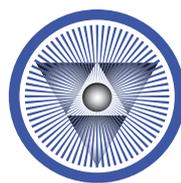


Для улучшения изыскательской части при проектировании и реконструкции объектов энергетики ТомскТЭП заключил партнерские взаимоотношения с Национальным исследовательским Томским политехническим университетом (ТПУ). При взаимодействии ТомскТЭПа с Центром лазерных технологий при ТПУ имеется возможность выполнения 3D-изыскательской и 3D-исполнительской частей (As-built). Уровень квалификации, опыт специалистов и оснащенность «Центра лазерных технологий» позволяет гарантировать высокое качество при выполнении работ.

Из совместных проектов с использованием PDMS-Global у ТомскТЭПа пока один объект – проектирование нового блока Абаканской ТЭЦ. Данный проект выполнялся совместно с Е4-СибКОТЭС и, несмотря на то, что это был первый для ТомскТЭПа совместный проект, в процессе его реализации удалось ощутить все прелести наглядной и интерактивной

работы (синхронизация модели раз в сутки). Подводя итог применения технологии КЭДО-PDMS для ТомскТЭПа в части проектирования, хочется подчеркнуть такой важный момент в КЭДО как автоматизация взаимоотношений и разграничений прав доступа на всем участке проектирования от ГИПа до выпуска документации (архива). Опыта передачи модели заказчику для строительства и эксплуатации, пока не имеется. Но если учесть строгую иерархию выполнения объекта в PDMS согласно графику КЭДО, то применение этого материала для дальнейшего использования при строительстве и эксплуатации имеет хорошие шансы. Для этого необходимо прежде встретиться заказчика с запросом на реализацию данной задачи...

№ 17 февраль-март 2014



АТОМНОЕ **строительство**