

Опыт разработки и внедрения современной системы контроля условий эксплуатации ядерного топлива

А.Е. Калинушкин, В.И. Митин, Ю.М. Семченков
РНЦ «Курчатовский институт»

Доклад на круглом столе «Унифицированная АСУТП для АЭС с энергоблоками нового поколения» международного конгресса «Атомэкспо 2010» 07.06.2010

Единственный путь к безопасному и надёжному применению атомной энергии - полная приверженность тех инженеров, кто проектирует, конструирует и использует её, к высочайшему уровню внимания к деталям технического совершенства
Адмирал Хайман Риквер

за семь лет, с 1948 по 1955 годы, создал американскую атомную подводную лодку;
всего построил 237 ядерных судов;
ни разу не сталкивался с ядерной аварией;
создал реакторные зоны, чей срок жизни совпадал со сроком жизни лодки

ВВЭР – основа развития российской атомной энергетики.

Повышение мощности – тенденция настоящего времени.

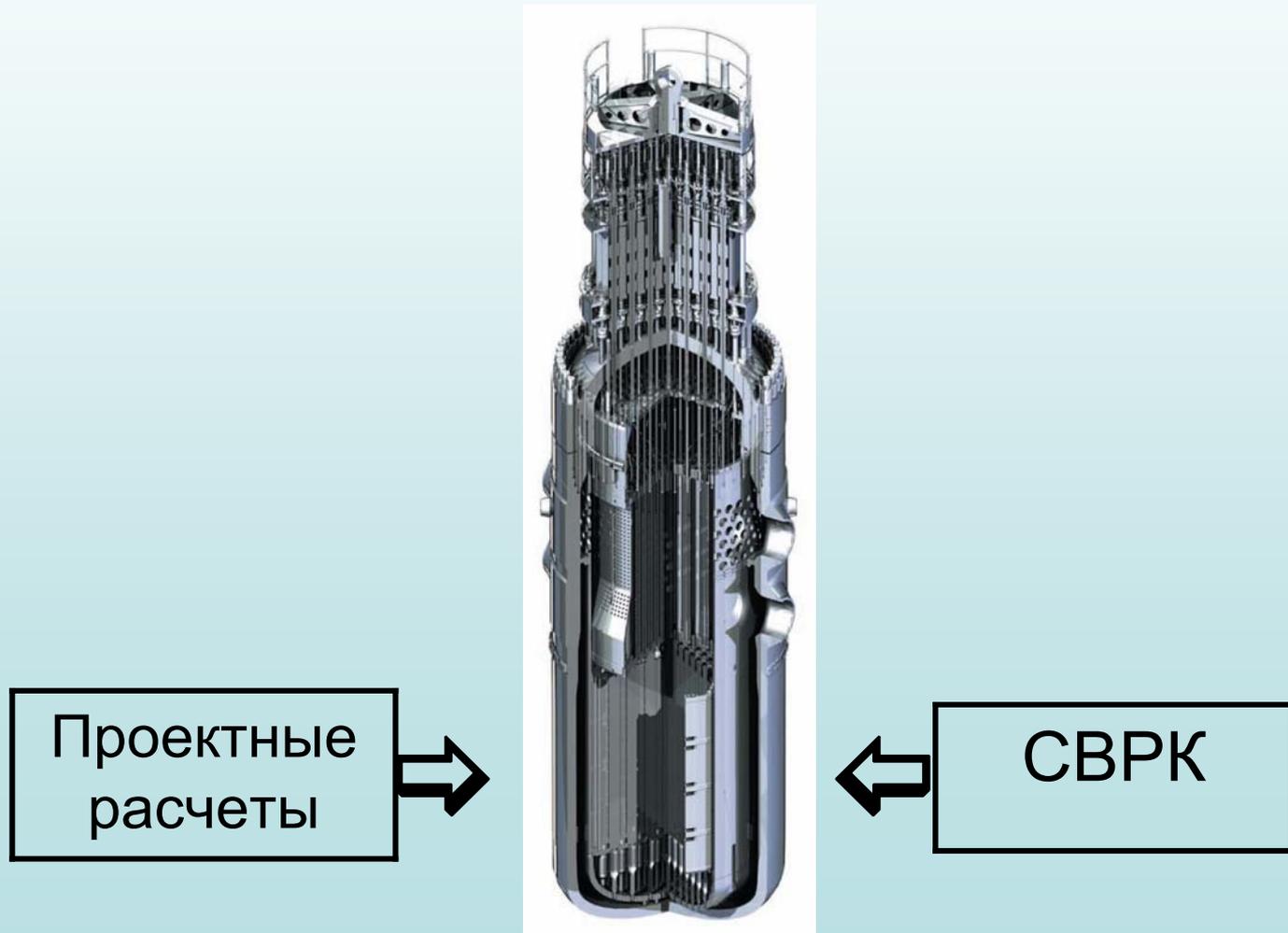
Одно из важнейших и необходимых условий для обеспечения ядерной и радиационной безопасности ВВЭР большой мощности – увеличение точности, надежности и быстродействия мониторинга условий эксплуатации ядерного топлива.

Этапы развития внутриреакторного контроля на ВВЭР

- 1.** Контроль с помощью внереакторных камер и термопар, расположенных на выходе из части ТВС (1 и 2 блок НВАЭС)
- 2.** Развитие за счет периодических активационных измерений (АЭС с ВВЭР-440 проекта В-179 и В-230)
- 3.** Создание системы на базе постоянно размещенных в активной зоне родиевых ДПЗ и термопар на выходе из части ТВС (АЭС с ВВЭР-440 проекта В-213, АЭС с ВВЭР-1000)

СВРК является основным средством наблюдения за эксплуатацией топлива в активной зоне в режимах нормальной эксплуатации, нарушении нормальной эксплуатации реакторов ВВЭР и проектных авариях.

СВРК - составная часть технического обоснования безопасной эксплуатации энергоблока.



**СВРК-М – новое поколение систем
внутриреакторного контроля на ВВЭР.**

**Разработка проводилась на основании
технических требований Главного
конструктора РУ и технического задания,
согласованного Главным конструктором РУ и
Генеральными проектировщиками.**

**Процесс разработки строго соответствовал
требованиям российской и международной
нормативной базы.**

Основные этапы разработки

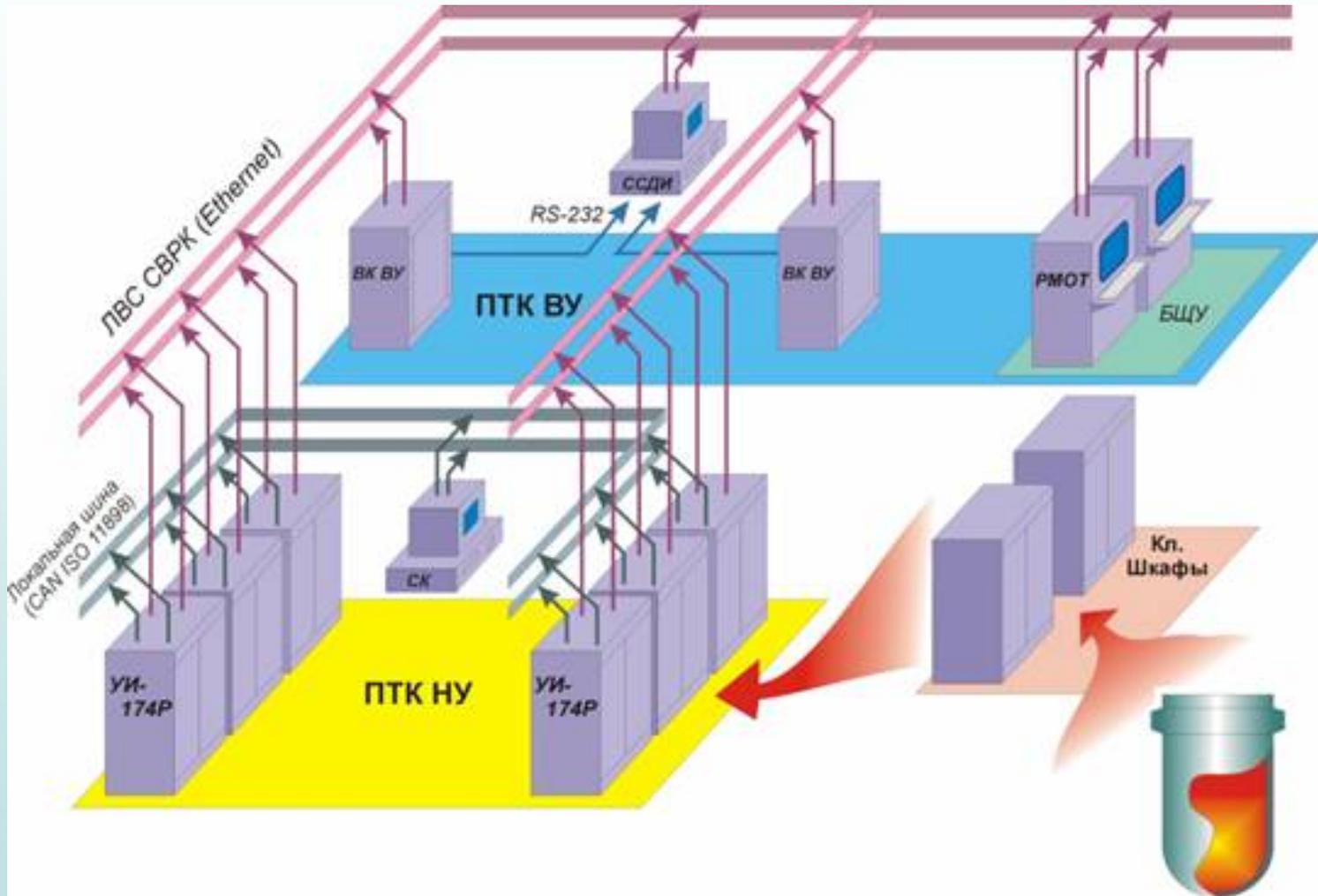
- разработка технических средств и программного обеспечения;
- полигонные и натурные (на АЭС) испытания;
- выпуск и защита технических заданий и технических проектов;
- разработка рабочей документации, верификация и валидация ПО;
- разработка программ и методик испытаний;
- общесистемные автономные у Изготовителя, пуско-наладочные и приемочные испытания на АЭС;
- сопровождение в процессе промышленной эксплуатации.

Основу СВРК –М проекта РУ В-320 составляют:

- внутриреакторные датчики нейтронного потока (родиевые ДПЗ в количестве $7 \times 64 = 448$ штук) и температуры (95 термоэлектрических хромель-алюмелевых преобразователей типа К);
- измерительная аппаратура высокого класса точности (погрешность-0,05% для всех измерительных каналов);
- высокопроизводительная вычислительная техника в исполнении для ответственных применений(комплексы с 5 вычислительными модулями типа Intel Xeon, каждый из модулей с тактовой частотой 2,4 Гц и ОЗУ 2 Гбайт.

Всё оборудование СВРК-М разработано и изготовлено в России.

Структура СВРК-М

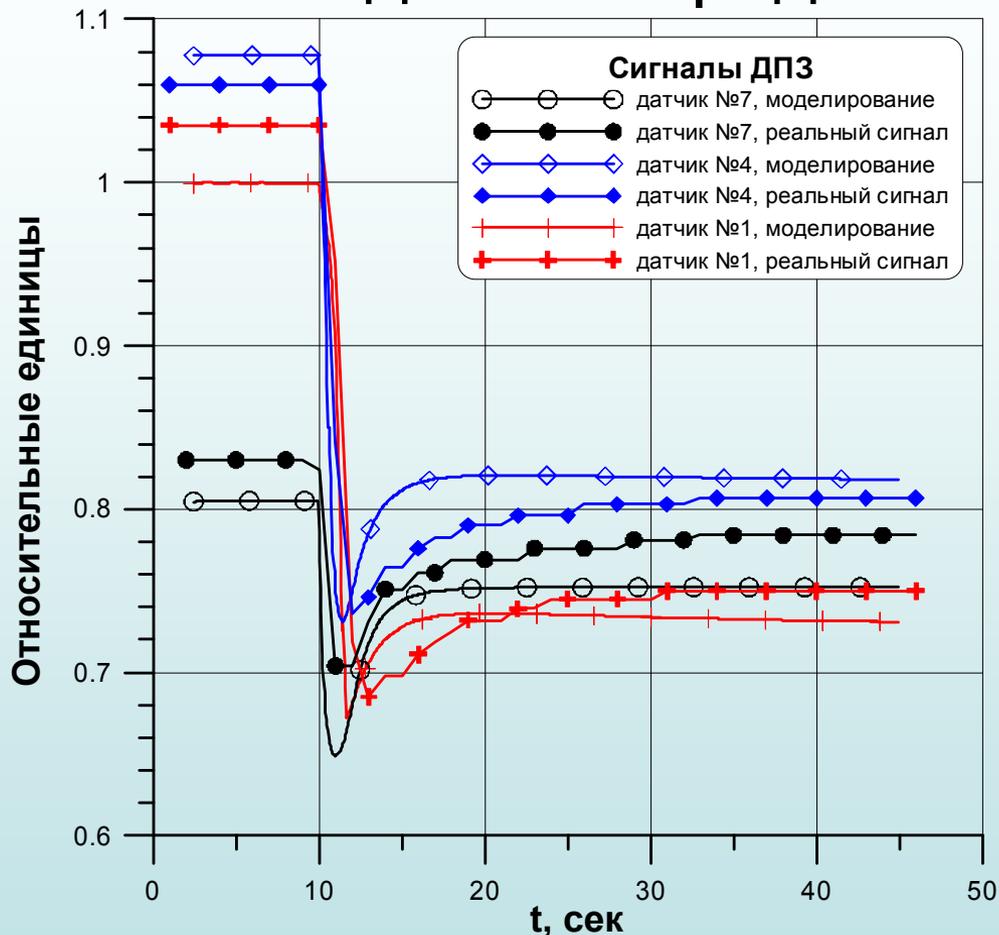


Основные отличительные особенности СВРК-М

- а) устранение запаздывания родиового ДПЗ для оперативного контроля энерговыделения в активной зоне
- в) оперативный и независимый контроль тепловой мощности реактора по показаниям родиовых ДПЗ
- с) контроль, аварийная и предупредительная защита по внутриреакторным (пиковым) факторам для ТВЭЛ и ТВЭГ
- д) независимый контроль мощности ТВС по показаниям родиовых ДПЗ и по данным внутриреакторного термоконтроля
- е) отличие расчетной части программного обеспечения СВРК-М от используемого проектного кода

Основные отличительные особенности СВРК-М

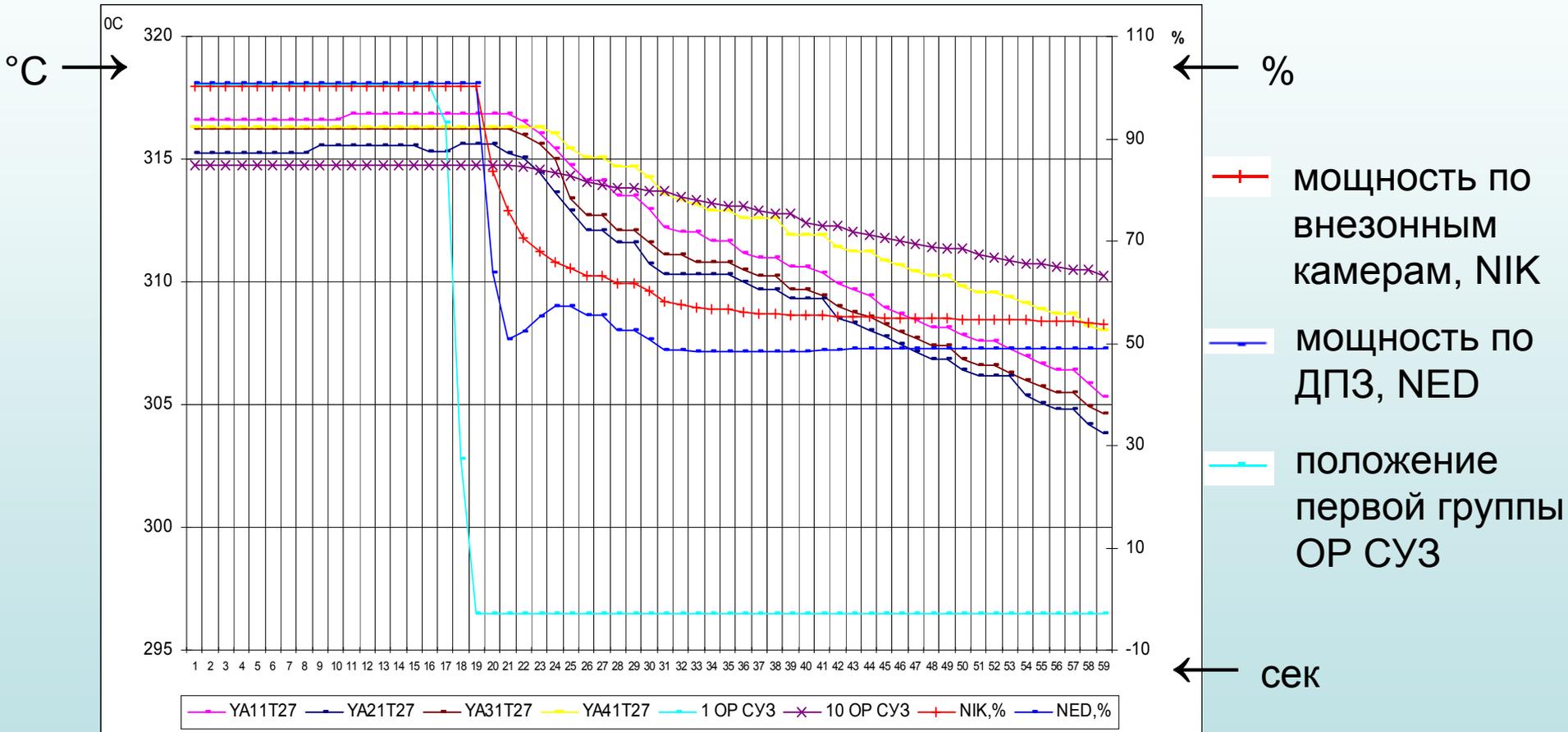
Устранение запаздывания родиевого ДПЗ



Изменение нейтронного потока в местах расположения родиевых ДПЗ в технологическом процессе с падением одного ОР СУЗ по показаниям ДПЗ и по результатам моделирования (с помощью расчетного кода NOSTRA)

Основные отличительные особенности СВРК-М

Оперативный и независимый контроль тепловой мощности реактора по показаниям родиевых ДПЗ



Разгрузка энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 с помощью группы ОР СУЗ

Основные отличительные особенности СВРК-М

В СВРК-М осуществляется контроль, аварийная и предупредительная защита по:

- запасу до кризиса теплообмена
- линейному энерговыделению

Контроль и защиты по линейному энерговыделению осуществляется одновременно и для всех ТВЭЛ (включая периферийные) и для ТВЭГ с учетом выгорания топлива

Процесс разработки и внедрения решений по защите активной зоны с помощью СВРК-М

- расчетное обоснование;
- разработка технических средств для 2 класса безопасности, включая квалификацию с учетом «старения»;
- проведение процедур разработки, верификации и валидации ПО по МЭК 60880 (включая верификацию независимой организацией);
- проведение полигонных испытаний (ЭНИЦ);
- проведение испытаний при отгрузке по специальным программам и методикам;
- проведение испытаний на энергоблоке (от послемонтажных до испытаний на мощности) по специальным программам и методикам;
- разработка программ и методик эксплуатационных проверок и сопровождение в процессе эксплуатации.

Основные отличительные особенности СВРК-М

СВРК-М обеспечивает независимый контроль мощности ТВС по показаниям родиевых ДПЗ и по данным внутриреакторного термоконтроля на энергоблоках с ВВЭР-1000, где устранен «ПЭЛ-эффект».

На 3 блоке Калининской АЭС для ТВСА с модернизированной головкой СКО=3,66%

СКО – среднеквадратичное отклонение мощностей ТВС, определенных по данным внутриреакторного термоконтроля от мощностей ТВС, определенных по показаниям родиевых ДПЗ (выборка из 85 ТВС в четвертой топливной кампании)

Основные отличительные особенности СВРК-М

В соответствии с международными рекомендациями для исключения ошибки по общей причине расчетная часть программного обеспечения СВРК-М отличается от проектного кода, используемого для расчета топливных загрузок.

Для повышения информированности персонала в процессе эксплуатации энергоблока дополнительно в состав СВРК-М входит on-line программный код ИР, построенный на базе проектного кода с использованием реальных сигналов родиевых ДПЗ.

Подтвержденные при испытаниях СВРК-М на АЭС с ВВЭР-1000 значения неопределенностей:

- максимальное линейное энерговыделение – 5,4%
- максимальная мощность ТВС – 5%
- средневзвешенная мощность реактора - 2%
- температура теплоносителя – 0,3 °С (на нулевой мощности в горячем состоянии)

СООТВЕТСТВИЕ СВРК-М международным стандартам

СВРК-М соответствует стандарту МЭК 61513

Оборудование СВРК-М прошло квалификацию по стандарту МЭК 60780

Программное обеспечение СВРК-М разработано с учетом требований стандарта МЭК 60880

Разработка проекта, оборудования и программного обеспечения проводилась в соответствии с требованиями ISO 9001

Проект СВРК-М лицензирован Ростехнадзором России

Оборудование и программное
обеспечение СВРК-М
сертифицировано независимой
уполномоченной фирмой
«Атомсертифика» (Россия)

Внедрение СВРК-М

Промышленная эксплуатация:

- 1-3 блок Калининской АЭС;
- 1-3 блоки Балаковской АЭС (работа блоков на 104% Nном);
- 5-6 блок АЭС «Козлодуй»;
- 1-2 блок АЭС «Тяньвань»;
- 2 блок Ростовской АЭС (опытно-промышленная эксплуатация).

Поставки:

- 4 блок Балаковской АЭС ;
- 1-2 блок АЭС «Куданкулам»;
- 4 блок Калининской АЭС.

Проект:

- АЭС-2006;
- АЭС «Белене»;
- 3-4 блок Ростовской АЭС.

Развитие СВРК-М

1. Контроль эксплуатационных ограничений по нагрузке топлива в процессе выгорания активной зоны для повышения эксплуатационной гибкости топливных циклов
2. Информационная поддержка по оптимальному ведению водно-химического режима первого контура для повышения надежности эксплуатации топлива