



НИИАР
РОСАТОМ

Техническое переворужение РУ ВК-50

АО «ГНЦ НИИАР» / отделение «Реакторная установка ВК-50»

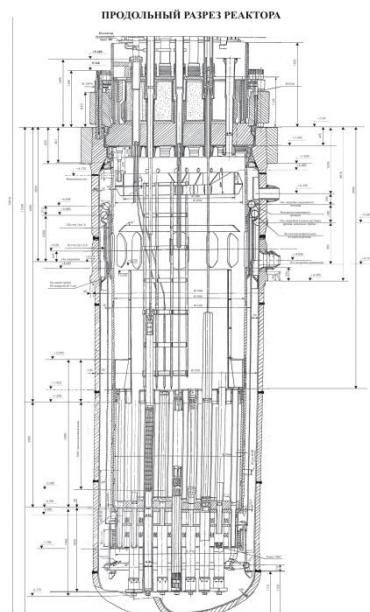
Протопопов Дмитрий Павлович
Главный инженер РУ ВК-50

Реактор – «Ветеран» (ввод в эксплуатацию – 1965 год)

Единственный действующий в России корпусной кипящий реактор



Параметр	Размерность	Значение
Тепловая мощность реактора	МВт	до 200
Электрическая мощность	МВт	до 50
Мощность теплофикационной установки	Гкал/ч	до 37
Рабочее давление	МПа	до 6,0
Длительность кампании Активной зоны	год	1-2



Особенности

ядерная установка с корпусным кипящим реактором и естественной циркуляцией теплоносителя, с выдачей пара непосредственно из реактора на турбину

Основное направление деятельности

генерация и выдача в сеть электрической энергии для внешних и внутренних потребителей, а также выработка тепловой энергии для обеспечения внутренних потребителей (эксплуатация в режиме АТЭЦ).

Общие сведения о ИЯУ ВК-50

Исследовательская ядерная установка ВК-50 размещена на площадке Научно-исследовательского института атомных реакторов в г. Димитровграде Ульяновской области.

ИЯУ ВК-50 представляет собой ядерную установку тепловой мощностью 200 МВт, работающую по схеме прямого цикла в режиме АТЭЦ, с единственным в России корпусным кипящим реактором и всережимной естественной циркуляцией теплоносителя в нем.

Главным конструктором реактора является ОКБ «Гидропресс». Научным руководителем - РНЦ "Курчатовский институт", Генеральным проектировщиком – ВО «ГИ «ВНИПИЭТ», ныне «Атомпроект».

- Физический пуск реактора произведен в декабре 1964 г.
- Энергетический пуск установки произведен в октябре 1965 г.
- В декабре 1965 г. ИЯУ выведена на проектный уровень мощности.

НИР в обоснование безопасности АЭС, проведенные на ВК-50

1) Исследовательские работы по изучению проблем одноконтурных АЭС с корпусными кипящими реакторами.

2) Исследовательские работы для РБМК-1000. Результатом этих работ явились рекомендации, подлежащие учету при проектировании АЭС с реакторами типа РБМК.

3) Исследовательские работы для РБМК-II (2000). Результатом этих работ явилась отработка головных образцов турбонасосов для реакторов мощностью 2000-2400 МВт, ТЦН-307 и ПТНА.

4) Исследовательские работы для атомных станций теплоснабжения (АСТ). Результатом этой работы явились рекомендации для АСТ-500, эскизный проект ВК АСТ, ВК-300 и другие.

За годы эксплуатации на РУ ВК-50 были выполнены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы:

- экспериментальные исследования устойчивости и маневренности корпусных кипящих реакторов с естественной циркуляцией теплоносителя,
- изучение вопросов работоспособности и ресурсной стойкости материалов тепловыделяющих сборок и поглощающих элементов,
- верификация новых расчетных кодов легководных реакторов нового поколения («Корсар/ГП») по данным нейтронно-физических и теплогидравлических характеристик реактора ВК-50 (2005-2007г.г.),
- изучение сепарационных характеристик, вопросов радиационной безопасности, водно-химических режимов и взрывобезопасности при кипении теплоносителя,
- *комплекс работ по модернизации и созданию новых систем безопасности для легководного реактора: апробация принципа оптимального сочетания активных и пассивных систем безопасности.*

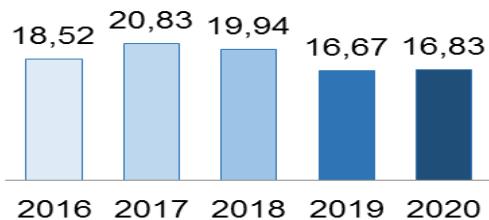
Отличие концепции безопасности РУ ВК-50 с естественной циркуляцией теплоносителя от реакторов ВВР АЭС «Фукусима»

- Всережимная **естественная** циркуляция теплоносителя позволяет при наличии уровня над активной зоной расхолаживать реактор без активных систем безопасности.
- Более чем в **10 раз** меньшая мощность реактора – меньшее остаточное тепловыделение активной зоны и выбросы РВ при аварии.
- **Все патрубки** реактора расположены **выше активной зоны** и минимально достаточного уровня для устойчивой работы контура естественной циркуляции теплоносителя
- **Режим «выбег генератора»** с работой основного контура позволяет при отключении от энергосистемы резко сбросить давление в реакторе и отвести остаточные тепловыделения в первые 3 минуты после срабатывания аварийной защиты за счет использования энергии пара, остающегося в паропроводах, сепараторах и корпусе реакторе.
- **Пассивные системы безопасности не имеют в своем составе вращающихся элементов** и основаны только на законах гравитации: гидроемкость (20 т), гидроемкости с борным раствором (11т), конденсатор (теплообменник) аварийного расхолаживания - КАР (конденсация 5т/ч пара).
- **Удаление парогазовой смеси с водородом** после предохранительных клапанов реактора не в замкнутый объем защитной оболочки, а через систему локализации радиоактивности в **спецвентиляцию** предотвращает взрыв «гремучей» смеси.
- Возможность **подачи воды в реактор и систему КАР от внешних источников** (пож. машины или мотопомпы из градирен) через исполнительные механизмы СУЗ верхнего расположения.
- Возможность **охлаждения днища реактора** заполнением наружного пространства шахты (защитной оболочки) водой из градирен (12000т) без насосов.
- Заполнение реактора борированным раствором из бака (50т) самотеком или насосом, запитанным от аккумуляторных батарей сейсмостойкого исполнения.

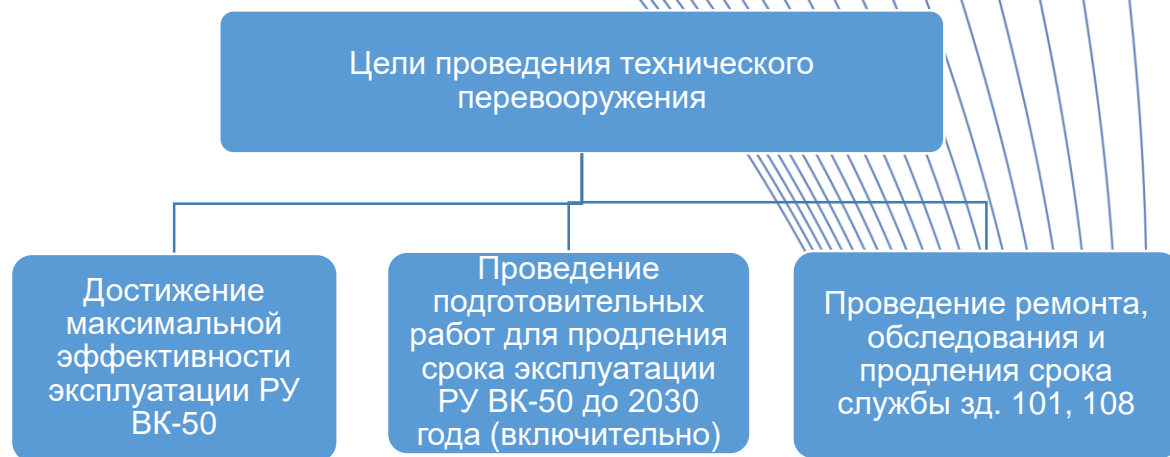
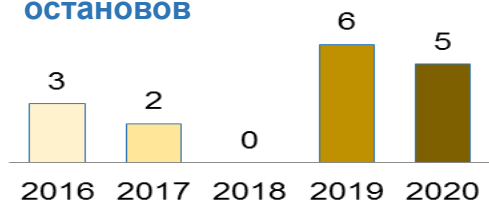
Необходимость проведения технического перевооружения РУ ВК-50 в 2021

Состояние на начало 2021 года

КПД эл, %



Количество внеплановых остановов



Ключевые работы	Сторонние организации
Капитальный ремонт турбоагрегата РУ ВК-50 с перелопачиванием последних ступеней РНД	АО «КЗАЭМ»
Капитальный ремонт турбогенератора ТВФ-60-2	
Капитальный ремонт с заменой трубной системы конденсаторов турбины, основных эжекторов и эжектора уплотнений	
Капитальный ремонт системы автоматического регулирования турбины АК-70-13	ООО «Комплект Энерго»
Поставка кожухотрубного теплообменника подсистемы расхолаживания высокого давления	ООО «ВСТ Реконструкция»
Восстановление эксплуатационных характеристик градирни 116	ООО «СК «Волжская Керамика»
Ремонт строительных конструкций и помещений зданий 101, 108 РУ ВК-50	

Капитальный ремонт ротора низкого давления турбины (РНД) с перелопачиванием последних ступеней

Вскрытие крышки ЦНД



Пескоструйная обработка РНД



Дефектация лопаток РНД



Облопачивание РНД



Ремонт диафрагм и обойм ЦНД

Подготовка к ремонту обойм ЦНД



Чистка диафрагм ЦНД



Ремонт нижних и верхних половин обойм ЦНД



Ремонт главного разъема ЦНД, ревизия предохранительных клапанов ЦНД

Установка крышки ЦНД на место ремонта



Ревизия предохранительных клапанов ЦНД



Чистка и проверка плотности прилегания горизонтального разъема ЦНД



Капитальный ремонт конденсаторов турбины КТ-1,2

Демонтаж концевых трубных досок и трубок КТ



Поставка новых концевых трубных досок КТ



Монтаж концевых трубных досок КТ



Установка крышек КТ, проведение испытаний



Капитальный ремонт основных эжекторов ЭО-1,2,3

Капитальный ремонт эжектора уплотнений ЭУ-5

Демонтаж ЭО-1,2,3



Разборка ЭО-1,2,3



Демонтаж ЭУ-5



Получены новые трубные пучки ЭО-1,2,3



Капитальный ремонт турбогенератора ТВФ-60-2

Выемка ротора



Снятие старых контактных колец ротора



Сборка возбуждителя, генератора и покраска



покраска

Замена контактных колец на новые



Восстановление эксплуатационных характеристик градирни (зд.116)

Демонтаж оросителя градирни



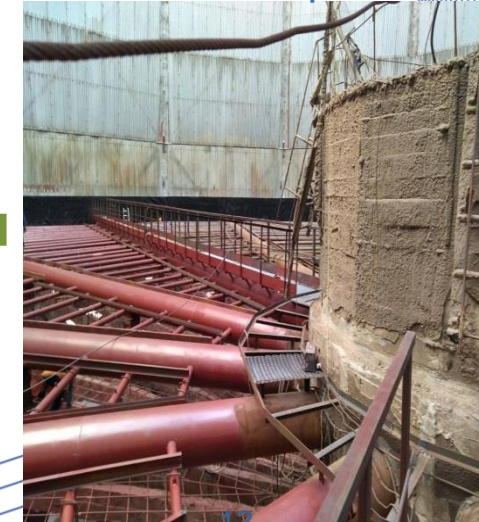
Демонтаж труб водораспределительной системы градирни



Проверка работы градирни



Монтажные работы



Поставка кожухотрубного теплообменника

Выполнена поставка теплообменника подсистемы расхолаживания высокого давления



Восстановление эксплуатационных характеристик зд.101,108

Усиление строительных конструкций здания, замена окон (реакторный и машинный зал)



Косметический ремонт помещений, замена напольного покрытия



Замена ворот транспортного въезда



Огнезащитная обработка ферм машинного зала, косметический ремонт стен и крыши



Замена окон, усиление строительных конструкций обстройки зд. 101, 108 и замена входной группы вестибюля здания



- СК зд. 101, 108 приведены в работоспособное техническое состояние.
- Обеспечена безопасность СК в соответствии с требованиями ФЗ от 30.12.2009 №384-ФЗ.
- Решением от 23.09.2021 № 58-07/898 назначенный срок службы зд. 101, 108 РУ ВК-50 продлен до 31.12.2041 на основании обследования, выполненного специализированной организацией ООО «ПИК».

Итоги технического перевооружения РУ ВК-50

1. Достигнута максимальная эффективность эксплуатации РУ ВК-50 за последние 25 лет

Сравнительный анализ параметров работы РУ ВК-50 до и после проведенного комплекса работ 2021 года

Параметр	Февраль		Март		Апрель		Май		Июнь		Июль		Сентябрь		Октябрь	
	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022
Тепловая мощность реактора, МВт	195-165	200	170-145	200	200	200	200-165	200	165-160	200-180	160-120	180	180-200	180-200	200	200
Электрическая нагрузка ТГ, МВт/ч	28,7	45-50	20,4	47	13,6	44,4	30,8	43,4	16,4	36,9	12,8	31,2	38,5	42	41,3	44,8
Температура тех.воды от градирен, °С	19-20	14-16	20,5	16	22,4	19	32	23,9	33	28,1	34,5	30,5	26,8	26,1	29,0	25,0
Температура тех.воды на градирни, °С	31,5	24	30,3	25	30	33	43,2	33,5	43,2	36,9	44	39,2	36,6	34,2	40,6	33,0
*при температуре наружного воздуха, °С	-3,6	-3,2	-2,2	-4,3	+6,5	+8,2	+14	+10,2	+17,5	+18,6	+22,9	+22,0	+17,5	+23	+12,3	-

Особое внимание следует уделить такому агрегированному показателю работы РУ ВК-50, как выработка эл. энергии. Она вернулась к проектным значениям.

2. Проведены мероприятия для продления эксплуатации РУ ВК-50:

- Решением от 23.09.2021 № 58-07/898 назначенный срок службы зд. 101, 108 РУ ВК-50 продлен до 31.12.2041.
- Внесено Изменение №1 от 29.12.2021 в УДЛ, снимающее ограничение на эксплуатацию РУ ВК-50 до 31.12.2021. Эксплуатация РУ ВК-50 в соответствии с Лицензией будет осуществляться до 31.12.2025.

Вывод:

Таким образом, созданы предпосылки эксплуатации РУ ВК-50 за горизонтом 2030 года.

Экономический эффект технического перевооружения РУ ВК-50

В целом на проведение этих работ в 2021 году было затрачено-386,4 млн. руб.

По результатам эксплуатации РУ ВК-50 в течение 9 месяцев 2022 года выработано сверх плана на 51,1 млн. руб., с прогнозом получения 68,1 млн. руб. сверх плана по итогам 2022 года.

Таким образом, вложенные в проведение ППР денежные средства прогнозируется полностью вернуть в течение 5-6 лет.

Это является неплохим сроком окупаемости проекта и доказывает экономическую целесообразность финансирования работ по техническому перевооружению реакторных установок, подобных РУ ВК-50, с большими сроками эксплуатации.

Историческая справка

Справедливости ради надо отметить, что на площадке ГНЦ НИИАР эксплуатировались и другие реакторные установки в целях проработки научно-технических решений по созданию АЭС и АСТ малой мощности (АС ММ). Наряду с РУ ВК-50 к таким установкам относилась и РУ АРБУС.

Реакторная установка АРБУС (атомная реакторная блочная установка) после реконструкции АСТ-1 (атомная станция теплоснабжения) с корпусным органико-органическим реактором и с органическим теплоносителем в первом контуре была разработана как исследовательская установка, предназначенная для обоснования научно-технических решений по созданию АЭС и АСТ малой мощности для электроснабжения и теплоснабжения промышленных предприятий и жилых поселков, расположенных в отдаленных районах Крайнего Севера. Установка смонтирована и пущена в НИИАР в 1963 году.

С 1963 года установка АРБУС эксплуатировалась в режиме двухконтурной электростанции (АЭС) тепловой мощностью 5 МВт, электрической - 750 КВт. Вырабатываемая электроэнергия использовалась подразделениями НИИАР.

В 1979 году установка реконструирована в 3-х контурную атомную станцию теплоснабжения (АСТ-1). До 1988 года установка эксплуатировалась в режиме АСТ. Вырабатываемое тепло использовалось для отопления подразделений ГНЦ НИИАР.

Опыт эксплуатации реактора АРБУС в ГНЦ НИИАР выявил как ряд преимуществ, так и некоторые недостатки. Самый существенный недостаток органического теплоносителя: при его циркуляции через активную зону реактора под действием ионизирующего излучения и температуры молекулы теплоносителя распадаются, образуя легкие и тяжелые фракции. Взаимодействуя между собой, тяжелые фракции образуют сверхтяжелые молекулы, которые осаждаются на теплопередающих поверхностях (эффект фаулинга).

Историческая справка

Данный эффект приводит к повреждению ТВЭЛов за счет перегрева и к невозможности продолжения эксплуатации реактора без очистки или замены топлива. Эффект фаулинга не позволял реактору работать в течение длительного времени.

В виду сложности решения данной проблемы, скорым окончанием проектного срока эксплуатации (30 лет), а также отсутствия необходимых финансовых средств установка была остановлена в мае 1988 года и переведена в режим «временной консервации».

Установка ИЯУ АСТ-1 с 1988 по 2000 года находилась в режиме консервации и поддерживалась персоналом в радиационно-безопасном состоянии.

С 01.01.2001 года начат вывод из эксплуатации согласно программе работ по выводу из эксплуатации ИЯУ АСТ-1, утверждённой приказом №594 от 20.09.1999 года Министра по Атомной энергии.

К 2017 году процесс вывода из эксплуатации ИЯУ АСТ-1 завершен:

- ядерная установка ИЯУ АСТ-1 снята с государственного учёта в органах Ростехнадзора;
- в шахте реактора создано хранилище твёрдых высокоактивных отходов, образовавшихся при эксплуатации и выводе из эксплуатации;
- получена лицензия на эксплуатацию хранилища ВТРО.

Информация о реакторной установке АСТ-1

Введена в действие в августе 1963 г.

Мощность:

в режиме АЭС - тепловая

- 5 МВт;

- электрическая

- 0,75 МВт;

в режиме АСТ - тепловая

- 5 МВт

Теплоноситель-замедлитель - органическая жидкость

- дитоллилметан ($C_{15}H_{16}$)

Рабочее давление

- 0,6 МПа

Температура теплоносителя

- 240 °С

Расход теплоносителя

- 1350 м³/час

Средний тепловой поток

- 110 кВт/м²

Плотность потока тепловых нейтронов

- $1,2 \cdot 10^{13}$ нейтр./(см²•с)

Остановлена

в мае 1988 г.

Календарное время работы

25 лет

Переведена в режим временной консервации

с 1.01.1989 г.

Выводится из эксплуатации

с 1.01.2000 г.

Финансировалась из федерального бюджета согласно программы ФЦП ОЯРБ на 2008-2015 гг. п.177.

Срок окончания работ

2017 г.

Спасибо за внимание

Протопопов Дмитрий Павлович
Главный инженер РУ ВК-50

Тел.: +7 (84235) 7-96-70
Моб. тел.: +7 (909) 354 48 75

13.10.2022, Обнинск