



УДК 621.039

## ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС С РЕАКТОРАМИ ВВЭР-440 ДО 60 ЛЕТ

### EXTENSION OF OPERATING TIME OF NPP WITH VVER-440 UP TO 60 YEARS

**Балакин Денис Юрьевич**, студент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [balakin.serbishino@mail.ru](mailto:balakin.serbishino@mail.ru), Тел.: +7(967)852-39-63

**Кокорин Владимир Юрьевич**, аспирант каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [vladimir.kokorin@urfu.ru](mailto:vladimir.kokorin@urfu.ru)

**Ташлыков Олег Леонидович**, кан-т. техн. наук, доцент каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [otashlykov@list.ru](mailto:otashlykov@list.ru). Тел.: +7(343)375-97-37

**Denis Yu. Balakin**, Student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [balakin.serbishino@mail.ru](mailto:balakin.serbishino@mail.ru). Ph.: +7(967)852-39-63

**Vladimir Yu. Kokorin**, Graduate student, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [vladimir.kokorin@urfu.ru](mailto:vladimir.kokorin@urfu.ru)

**Oleg L. Tashlykov**, Cand. Sci., Associate professor, Department «Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [otashlykov@list.ru](mailto:otashlykov@list.ru). Ph.: +7(343)375-97-37

**Аннотация:** Показана экономическая эффективность продления срока эксплуатации энергоблоков АЭС сверх установленного срока. Приведены некоторые данные по продлению срока эксплуатации энергоблоков Кольской АЭС с ВВЭР-440 до 60 лет с точки зрения повышения безопасности.

**Abstract:** The economic efficiency of NPP power units' life extension in excess of the specified service life is shown. Some information on the extension of Kola NPP power units with VVER-440 service life up to 60 years in terms of improving security is given.

**Ключевые слова:** продление срока эксплуатации; реактор ВВЭР-440; безопасность; анализ безопасности; вероятностный анализ безопасности (ВАБ); обоснование безопасности

**Key words:** service life extension; reactor VVER-440; safety, safety analysis, probabilistic safety assessment (PSA); safety case

#### ВВЕДЕНИЕ

Продление срока эксплуатации (ПСЭ) действующих энергоблоков АЭС является одной из важнейших тенденций современного этапа развития атомной энергетики и наиболее эффективным направлением вложения финансовых средств для сохранения генерирующих мощностей.

ПСЭ энергоблоков Кольской АЭС до 50-60 лет вписывается в общемировую практику. В США на текущий момент продлены до 60 лет сроки эксплуатации 83 из 104 действующих энергоблоков. В течение 40 и более лет атомные энергоблоки эксплуатируются во Франции, в

Швейцарии, в Бельгии и других странах. С 1977 г. в Финляндии эксплуатируется АЭС «Ловииза» с реакторами ВВЭР-440, аналогичными установленным на Кольской АЭС. Установленный срок эксплуатации данной АЭС, признанной одной из самых безопасных и эффективных в мире, в настоящий момент составляет 50 лет [1].

Реализации этого направления в развитии атомной энергетики России способствовали два основных фактора:

- установленный в проекте 30-летний срок эксплуатационного использования действующих АЭС был определен в 1960-х годах и отражает

некоторый консерватизм принятой расчетной базы его обоснования, когда отсутствовали фактические эксплуатационные данные по износу оборудования атомных станций. Сегодня опыт эксплуатации АЭС позволяет обосновать пересмотр ранее установленных сроков службы энергоблоков и сроков снятия с эксплуатации оборудования;

- работы по ПСЭ, проведенные в России, показали, что удельные финансовые затраты на выполнение требований Регулирующего органа, обеспечивающих возможность получения лицензии на эксплуатацию энергоблоков за пределами назначенного срока службы, значительно меньше затрат на ввод любых новых генерирующих мощностей.

Кольская АЭС расположена в 200 км к югу от города Мурманск и в 12 км от города Полярные Зори на берегу озера Имандра, введена в эксплуатацию в период 1973-1984 гг. в составе 4-х энергоблоков с реакторами типа ВВЭР-440 каждый. Суммарная установленная мощность Кольской АЭС составляет 1760 МВт. Все энергоблоки имеют лицензии на эксплуатацию в течение продленного срока службы (табл. 1).

Таблица 1

Продление сроков эксплуатации энергоблоков Кольской АЭС

Блок	Проектный срок	Состояние
№1	2003	Срок эксплуатации продлен на 15 лет до 2018 г., перспектива – продление до 2033 г.
№2	2004	Срок эксплуатации продлен на 15 лет до 2019 г., перспектива – продление до 2034 г.
№3	2011	Срок эксплуатации продлен на 25 лет до 2036 г.,
№4	2014	Срок эксплуатации продлен на 25 лет до 2039 г.,

#### НОРМАТИВНАЯ БАЗА

Многолетняя эксплуатация энергоблоков с ВВЭР-440 первого поколения показала их высокую надёжность и правильность выбранных проектных принципов обеспечения безопасности [2]. В исходном проекте энергоблока ВВЭР-440 заложены такие положительные свойства, как значительная консервативность проекта и развитые свойства внутренней самозащищенности.

С учетом развития нормативных требований к безопасности АЭС со второй половины 1980-х годов на энергоблоках АЭС с ВВЭР-440 первого поколения реализуется принцип непрерывного поэтапного повышения безопасности за счет модернизации. Инженерно-техническая стратегия

модернизации базируется на выполненных анализах соответствия этих энергоблоков требованиям современных нормативных документов по безопасности, вероятностных анализах безопасности и анализах аварийных ситуаций и опыта эксплуатации. При планировании модернизации учитывались рекомендации МАГАТЭ, а также международный опыт проведения работ по повышению безопасности действующих АЭС.

Энергоблоки Кольской АЭС в числе первых подобных блоков в России и странах Восточной Европы достигли назначенного 30-ти летнего срока службы. В связи с этим эксплуатирующей организацией (концерном «Росэнергоатом») была реализована комплексная программа работ по повышению безопасности и обеспечению ПСЭ энергоблоков №1 и №2 Кольской АЭС до 45 лет, а №3 и №4 до 60 лет. В настоящее время ведутся работы по ПСЭ энергоблоков №1 и №2 до 60 лет. Работы по ПСЭ действующих АЭС были развернуты во исполнение «Программы развития атомной энергетики на 1998-2005 годы и на период до 2010 года», утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации от 21.07.98 № 815 и «Стратегии развития атомной энергетики в первой половине XXI века», одобренной Правительством РФ 25.02.2000 и выполняются в соответствии с требованиями действующего законодательства и федеральных норм и правил в области использования атомной энергии.

В целях развития существующей нормативной и методической базы по вопросам ПСЭ энергоблоков АЭС в течение 1999-2001 годов были разработаны и введены в действие федеральные документы, определяющие технические требования к выполнению работ по подготовке энергоблоков АЭС к ПСЭ и критерии успешности завершения работ:

- Федеральные нормы «Основные требования к продлению срока эксплуатации блока атомной станции», НП-017-2000;
- Руководящий документ Госатомнадзора России «Требования к составу комплекта и содержанию документов, обосновывающих безопасность в период дополнительного срока эксплуатации блока АС», РД-04-31-2001.

Кроме того, эксплуатирующей организацией - концерном «Росэнергоатом» - в развитие федеральных норм и правил были разработаны и введены в действие в установленном порядке руководящие документы, определяющие требования к проведению модернизации и комплексного обследования энергоблока, порядок обеспечения качества, а также методические документы по обоснованию остаточного ресурса элементов энергоблока.

В указанных нормативных и методических документах определены подходы к ПСЭ энергоблоков АЭС на основании действующих нормативных документов, а также с учетом рекомендаций МАГАТЭ и международного опыта по вопросам управления сроком службы и оценке безопасности АЭС, сооруженных по ранее принятым нормам.

На основании требований нормативных документов (НД) работы по подготовке к ПСЭ энергоблоков АЭС ведутся по следующим направлениям:

- комплексное обследование энергоблока;
- модернизация энергоблока с целью повышения уровня его безопасности;
- обоснование остаточного ресурса незаменимых и восстанавливаемых элементов энергоблока;
- углубленная оценка безопасности энергоблока.

### КОНЦЕПЦИЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Энергоблоки №1 и №2 Кольской АЭС проектировались и сооружались в 1960-70-х годах в соответствии с действовавшими в тот период нормативными документами и были введены в эксплуатацию в 1973 и 1974 годах. Разработка проекта первой очереди Кольской АЭС была основана на концепции, предполагающей, что за счет обеспечения высокого качества оборудования и других компонентов реакторной установки, а также качества эксплуатации – контроля за состоянием металла и сварных швов оборудования и трубопроводов, можно избежать значительного их повреждения, исключив тем самым возможность серьезной аварии. В качестве максимальной проектной аварии рассматривалась течь из первого контура с эквивалентным сечением разрыва Ду 32.

Начиная со второй половины 1980-х годов на основе проверки состояния действующих АС с ВВЭР, анализ их безопасности были разработаны первые документы, определяющие мероприятия, направленные на устранение или частичную компенсацию наиболее существенных дефицитов безопасности. С учетом развития нормативных требований к безопасности АЭС со второй половины 1980-х годов на российских АЭС с ВВЭР-440 1-го поколения реализуется принцип непрерывного поэтапного повышения безопасности путем модернизации.

В 1992 году была разработана «Концепция повышения безопасности 1,2 блоков Кольской АЭС с реактором ВВЭР-440 (В-230)», которая определила инженерно-техническую стратегию модернизации этих энергоблоков и позволила провести первое ПСЭ Кольской АЭС.

### МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Основными мероприятиями, направленными на устранение и компенсацию дефицитов безопасности, отраженными в указанных документах, и реализованными на энергоблоках №1 и №2 в период 1999-2003 гг., являются:

- разработана и применена концепция «Течь перед разрушением», позволяющая значительно снизить вероятность разрывов трубопроводов первого контура Ду 200 и Ду 500;
- в результате реконструкции систем безопасности (СБ) созданы три независимых канала СБ с внутренним резервированием активных элементов. Это позволило в значительной степени скомпенсировать дефицит безопасности, связанный с отступлением от требований ОПБ-88/97 в части принципа «единичного отказа»;
- внедрена дополнительная система аварийной питательной воды с использованием дизель-насосных установок, позволяющая существенно снизить зависимость от отказов по общей причине;
- реализованы технические меры по управлению запроектными авариями, такие как замена старых предохранительных клапанов компенсатора давления и парогенераторов (рис.1) на клапаны, удовлетворяющие требованиям действующих НД, оснащение АС передвижной аварийной РДЭС (рис.2.), системой аварийных КИП, и т.д.;



Рис. 1. Импульсные предохранительные устройства ПП



Рис. 2. Передвижная аварийная РДЭС

- подвергнуты серьезной модернизации управляющие системы безопасности и системы аварийной защиты реактора;
- внедрена система эксплуатационного контроля за состоянием металла трубопроводов, реализован комплекс организационных и технических мероприятий для выполнения этих задач;
- выполнена модернизация системы локализации аварий, включая установку струйно-вихревого конденсатора и установку отсечных клапанов на вентиляционных системах в местах пересечения границ контура герметизации;
- внедрен комплекс мероприятий по обеспечению хрупкой прочности корпуса реактора.

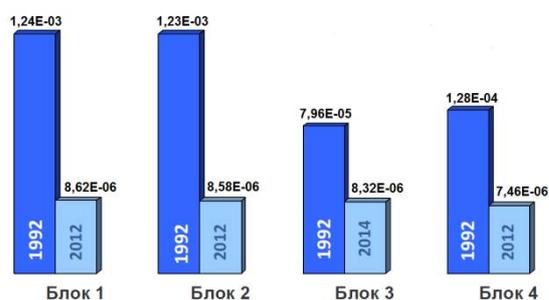


Рис. 3. Вероятностная оценка безопасности энергоблоков (повышение безопасности при ПСЭ)

Основными мероприятиями по второму ПСЭ энергоблоков №1 и №2 до 60 лет являются:

- внедрение системы аварийной охлаждения активной зоны низкого давления (САОЗ НД);
- модернизация системы аварийного охлаждения активной зоны высокого давления (САОЗ ВД);
- внедрение пассивной системы аварийного охлаждения активной зоны – системы гидроемкостей;
- модернизация спринклерной системы;
- раскрепление оборудования и трубопроводов первого контура для повышения сейсмостойкости.

#### ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

ПСЭ действующего энергоблока АЭС позволяет обеспечить более высокие показатели экономической эффективности АЭС по сравнению с другими вариантами. Абсолютное большинство эксплуатирующих организаций заинтересовано в продолжении эксплуатации энергоблоков АЭС сверх проектного срока именно из соображений экономической эффективности. ПСЭ действующих энергоблоков АЭС особенно эффективно для стран с развитой рыночной экономикой, т.к. к моменту окончания проектного срока эксплуатации энергоблока стоимость основного оборудования, зданий и сооружений, как правило, уже полностью возмещается за счет амортизационных отчислений.

Выполненная оценка экономической эффективности ПСЭ энергоблоков №1 и №2 Кольской АЭС показала, что даже в минимальном сценарии роста электропотребления в регионе (0,2% в период с 2015-2030 гг. и ввод участка 2-й цепи сетевого транзита 330 кВ до Ондской ГЭС) продолжение эксплуатации энергоблоков №1 и №2 экономически обосновано. Правительство Мурманской области и Республики Карелия поддержали необходимость ПСЭ энергоблоков №1 и №2 Кольской АЭС [1].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Продление сроков эксплуатации энергоблоков №1 и №2 Кольской АЭС до 60 лет позволяет расширить спектр постулируемых аварий, снизить вероятности повреждения активных зон реакторов энергоблоков №1 и №2 Кольской АЭС; обеспечить энергетическую безопасность Северо-Западного региона и Баренцево-Арктической зоны и поддержать энергетический потенциал для промышленного развития региона, стабильный социально-экономический климат в регионе.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Омельчук В.В. Кольская АЭС, как основа энергетики региона: настоящее и перспективы Мурманск.2016.[http://www.osatom.ru/mediafiles/u/files/IX\\_reg\\_forum\\_2016/4\\_OmelchukVV\\_Forum\\_dia\\_log120516.pdf](http://www.osatom.ru/mediafiles/u/files/IX_reg_forum_2016/4_OmelchukVV_Forum_dia_log120516.pdf)
2. Ташлыков О.Л., Кузнецов А.Г., Арефьев О.Н. Эксплуатация и ремонт ядерных паропроизводящих установок АЭС: В 2 кн. –М.: Энергоатомиздат, 1995.- Кн.1.
3. Балакин Д. Ю., Ташлыков О. Л. Реконструкция кольцевого бака реактора ВВЭР-440 (Проект В-230) // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений. Екатеринбург: УрФУ, 2017. С. 676-679.
4. Кокорин В. В., Ташлыков О. Л. Продление сроков эксплуатации энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР-440 (проект В-230) // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений. Екатеринбург : УрФУ, 2017. С. 800-803.