РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

при использовании атомной энергии



МОНИТОРИНГ РАДИАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННОГО РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ ВВЭР

РБ-145-18

gost.e-ecolog.ru

ЯРБУ «НТЦ ЯРБ»

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ

УТВЕРЖДЕНО
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 1 июня 2018 г. № 239

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

«МОНИТОРИНГ РАДИАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННОГО РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ ВВЭР» (РБ-145-18)

Введено в действие
с 25 мая 2018 г.

Москва 2018

Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Мониторинг радиационной нагрузки и определение радиационного ресурса оборудования ВВЭР» (РБ-145-18)

***Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору,* Москва, 2018**

Руководство по безопасности РБ-145-18 «Мониторинг радиационной нагрузки и определение радиационного ресурса оборудования ВВЭР»[1] разработано в целях содействия соблюдению требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии "Правила контроля основного металла, сварных соединений и наплавленных поверхностей при эксплуатации оборудования, трубопроводов и других элементов атомных станций" (НП-084-15), в части требований по необходимости проведения контроля текущего значения параметров нейтронного облучения в зонах контроля, полученного в результате мониторинга.

Рекомендации РБ-145-18 распространяются на оборудование реакторов типа ВВЭР, подверженное реакторному облучению, для которого необходимо проводить контроль текущего значения параметров нейтронного облучения в зонах контроля, полученного в результате мониторинга.

РБ-145-18 содержит рекомендации по проведению мониторинга радиационной нагрузки и определению радиационного ресурса оборудования водо-водяного энергетического реактора. Разработано с учетом отечественного и международного опыта регулирования безопасности и практических работ, связанных с мониторингом радиационной нагрузки оборудования реакторов действующих атомных электростанций. При разработке были учтены положения существующих документов, государственных и национальных стандартов в данной области, а аткже современный уровень развития науки и техники.

Рекомендуется для применения юридическим лицам, осуществляющим проектирование, конструирование, изготовление, эксплуатацию и вывод из эксплуатации оборудования атомных станций.

Выпускается впервые.

[1] В разработке принимали участие: Бородкин П.Г., Газетдинов А.С., Столбунов А.Ю., Хренников Н.Н. (ФБУ «НТЦ ЯРБ»), Белов В.И., Гривизирский В.А. (Ростехнадзор).

I. Общие положения

1. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии "Мониторинг радиационной нагрузки и определение радиационного ресурса оборудования ВВЭР" (РБ-145-18) (далее - Руководство по безопасности) разработано в соответствии со статьей 6 Федерального закона от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ "Об использовании атомной энергии" в целях содействия соблюдению требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии "Правила контроля основного металла, сварных соединений и наплавленных поверхностей при эксплуатации оборудования, трубопроводов и других элементов атомных станций" (НП-084-15), утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 07 декабря 2015 г. № 502 (зарегистрирован Минюстом России 10 марта 2016 г., регистрационный № 41366) (далее - НП-084-15).

2. Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по проведению мониторинга радиационной нагрузки и определению радиационного ресурса оборудования водо-водяного энергетического реактора.

3. Действие настоящего Руководства по безопасности распространяется на оборудование водо-водяных энергетических реакторов, подверженное реакторному облучению, для которого необходимо проводить контроль текущего значения параметров нейтронного облучения в зонах контроля, полученного в результате мониторинга в соответствии с требованиями НП-084-15.

4. Настоящее Руководство по безопасности рекомендуется для применения юридическим лицам, осуществляющим проектирование, конструирование, изготовление, эксплуатацию и вывод из эксплуатации оборудования атомных станций.

5. Положения настоящего Руководства по безопасности рекомендуется учитывать при формировании требований эксплуатирующей организации к контролю радиационной нагрузки оборудования при эксплуатации атомных станций.

6. Настоящее Руководство по безопасности разработано с учетом отечественного и зарубежного опыта по мониторингу радиационной нагрузки и определению радиационного ресурса оборудования атомных станций.

7. Перечень сокращений, использованных в настоящем Руководстве по безопасности, приведен в приложении № 1. Термины и определения - в приложении № 2.

II. Организация и проведение мониторинга радиационной нагрузки

8. Мониторинг РН выполняется для оборудования реакторов типа ВВЭР, для которого в соответствии с требованиями НП-084-15 предусмотрен эксплуатационный контроль радиационного охрупчивания металла, а также для другого оборудования, свойства металла которого подвержены деградации вследствие нейтронного облучения. Мониторинг РН проводится с целью периодического

или непрерывного учета и контроля параметров нейтронного облучения в зонах контроля.

9. Оценку состояния оборудования (запаса до достижения оборудованием предельного состояния) рекомендуется проводить с использованием параметра РН, применяемого для прогнозирования изменения свойств металла данного оборудования под действием облучения, и сравнением значения параметра РН с его предельным значением, полученным с учетом установленных критериев радиационной повреждаемости. При определении параметров и критериев рекомендуется использовать расчетно-экспериментальный метод. Оценку параметров и критериев рекомендуется проводить с приемлемой степенью консервативности.

10. Эксплуатирующей организации рекомендуется осуществлять организацию работ по мониторингу РН оборудования реакторов ВВЭР действующих энергоблоков АС с привлечением специализированных организаций, имеющих соответствующую лицензию, квалифицированных сотрудников с соответствующим опытом работы.

11. Мониторинг РН включает в себя:

расчетно-экспериментальную оценку функционалов поля нейтронов в местах проведения контроля;

подсчет и оценку текущих значений параметров РН;

прогноз параметров РН на момент окончания срока эксплуатации энергоблока;

оценку неопределенности параметра РН;

мониторинг параметров РН оборудования с использованием ОС;

определение консервативных предельных значений параметров РН;

сопоставление результатов оценок параметров РН с их предельными значениями;

оценку запаса до достижения предельного значения параметров РН;

оформление документов по результатам проведенного мониторинга.

12. Рекомендуется вести мониторинг РН в характерных точках оборудования ВВЭР (точках, которые характеризуются максимальным значением критериев радиационной повреждаемости) в течение всего периода эксплуатации, в том числе при продлении срока эксплуатации. В случае если ранее мониторинг РН для этих точек не был предусмотрен, рекомендуется проводить оценку функционалов поля нейтронов на оборудовании ВВЭР за все время эксплуатации для всего оборудования, для которого необходимо проводить контроль текущего значения параметров нейтронного облучения в зонах контроля, полученного в результате мониторинга. Выбор характерных точек оборудования рекомендуется проводить на основе анализа максимальных значений критериев радиационной повреждаемости, оцененных, в том числе по результатам разрушающего контроля металла оборудования, включая испытания ОС. Анализ максимальных значений критериев радиационной повреждаемости рекомендуется проводить эксплуатирующей организацией с привлечением организаций, выполнявших конструирование (проектирование) и изготовление оборудования.

13. Результаты мониторинга рекомендуется приводить в отчетах, разрабатываемых на АС, при обосновании эксплуатации в каждую кампанию работы реактора.

14. Значению параметра РН в характерных точках оборудования ставится в соответствие значение критерия радиационной повреждаемости, согласно прогнозной зависимости радиационного повреждения, установленной в проекте. При этом неопределенность (погрешность) текущего значения параметра РН определяет границы неопределенности оценки критерия радиационной повреждаемости согласно прогнозной зависимости.

15. Предельные значения параметров РН оборудования рекомендуется устанавливать конструкторской (проектной) организации на стадии проектирования по каждому из установленного для этого оборудования параметру на основе:

требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии;

требований норм и правил по прогнозной зависимости радиационного повреждения, установленной в проекте;

выбранных критериев радиационной повреждаемости оборудования из расчетов на прочность рассматриваемого оборудования;

требований конструкторской (проектной) документации.

16. В случаях когда предельные значения параметров РН оборудования отсутствуют, эксплуатирующей организации рекомендуется установить и согласовать критерии радиационной повреждаемости с привлечением организации, выполнявшей конструирование (проектирование) и изготовление указанного оборудования.

17. По мере приближения параметра, полученного по результатам мониторинга, к своему предельному значению эксплуатирующей организации рекомендуется принимать решение о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации оборудования, включая разработку компенсирующих мероприятий по смягчению механизмов старения. Решение рекомендуется согласовывать с организацией, выполнявшей конструирование (проектирование) и изготовление оборудования.

III. Номенклатура групп оборудования и параметров для проведения мониторинга радиационной нагрузки

18. Номенклатуру групп оборудования для проведения мониторинга рекомендуется обосновывать в проекте АС и приводить в ООБ АС. Рекомендации по объектам и объему мониторинга РН для включения в номенклатуру приведены в приложении № 3 к настоящему Руководству по безопасности. На основании рекомендаций приложения № 3 к настоящему Руководству по безопасности эксплуатирующей организации для каждого блока АС рекомендуется разрабатывать номенклатуры групп оборудования для проведения мониторинга.

19. По согласованию с разработчиками проектов РУ и АС эксплуатирующей организации рекомендуется дополнять указанную номенклатуру групп оборудо-

вания другим оборудованием, исходя из опыта эксплуатации, опыта мониторинга РН оборудования либо новых оценок критериев радиационной повреждаемости. При этом рекомендуется приводить в ООБ АС обоснование отнесения оборудования к указанной номенклатуре.

20. В проекте АС рекомендуется приводить перечень параметров РН и сроки службы для всего оборудования, выбранного для проведения мониторинга.

21. Примерный перечень параметров РН, рекомендуемых для учета и контроля при проведении мониторинга, приведен в приложении № 4 к настоящему Руководству по безопасности. Выбор параметров для мониторинга рекомендуется проводить на основе анализа максимальных значений критериев радиационной повреждаемости, оцененных, в том числе по результатам испытаний ОС.

22. Установленный конструкторской (проектной) организацией или эксплуатирующей организацией перечень параметров РН оборудования рекомендуется обосновывать с учетом:

опыта конструирования, изготовления, монтажа, ввода в эксплуатацию, эксплуатации оборудования;

результатов аналитических исследований и расчетов на прочность;

результатов испытаний ОС, в том числе результатов ускоренных испытаний на старение;

прогнозируемых механизмов старения и деградации оборудования.

IV. Рекомендации по установлению методов мониторинга радиационной нагрузки

23. Проводимый в процессе мониторинга контроль (учет) параметров РН на оборудовании реактора и на ОС во время эксплуатации реактора рекомендуется проводить по методикам, разработанным эксплуатирующей организацией, на основе расчетно-экспериментального метода.

24. При этом рекомендуется учитывать следующее:

методика учета параметров РН на оборудовании реактора при эксплуатации должна предусматривать возможность расчетного определения накопленного параметра РН (с обоснованной оценкой погрешности) в характерных точках оборудования по каждой кампании в отдельности;

допускается определять усредненные за кампанию и приведенные к номинальной мощности значения параметров, но с учетом всех изменений в работе реактора за кампанию;

рекомендуется дополнительно учитывать показания фактических реакторных данных по загрузкам активной зоны при оценках текущих значений параметров РН;

методику расчета параметров РН на оборудовании конкретного энергоблока рекомендуется обосновывать измерениями (например, нейтронно-активационными в соответствии с Руководством по безопасности "Методика нейтронного контроля на внешней поверхности корпусов водо-водяных энергетических реакторов АЭС" (РБ-018-01), утвержденному постановлением Госатомнадзора Рос-

сии от 17 декабря 2001 г. № 14 (далее - РБ-018-01)) на данном энергоблоке с периодичностью не реже 1 раза в 6 лет;

рекомендуется проведение дополнительной аттестации и валидации ПС, используемых в методике расчета, для характерных точек с учетом размещения оборудования ВВЭР, для которого предусмотрен мониторинг. При отсутствии результатов верификации и валидации ПС рекомендуется введение дополнительных коэффициентов запаса (например, в соответствии с Руководством по безопасности "Учет флюенса быстрых нейтронов на корпусах и образцах-свидетелях ВВЭР для последующего прогнозирования радиационного ресурса корпусов (РБ-007-99), утвержденному постановлением Госатомнадзора России от 21 апреля 1999 г. № 2 (далее - РБ-007-99)).

25. Кроме того, подтверждение полученных оценок всех функционалов поля нейтронов, используемых для определения параметров РН, дополнительные измерения рекомендуется проводить:

в первые три кампании (для подтверждения проектных значений параметров);

в случае когда при прогнозном расчете получено отклонение функционалов поля нейронов в максимуме распределения на оборудовании более 10% в сравнении с аналогичным значением функционалов поля нейронов в завершенные кампании, подтвержденные измерениями;

при переходе на эксплуатацию на повышенном уровне мощности РУ, увеличении межремонтных интервалов, внедрении новых видов топлива, любых конструкционных изменениях оборудования, влияющих на изменение параметров РН.

26. Рекомендуется проводить прогнозирование параметров РН в характерных точках оборудования реактора на проектный срок службы оборудования реактора после завершения каждой кампании с использованием текущих значений параметров РН. Полученное значение сравнивается с предельным значением параметров РН в характерных точках оборудования реактора.

27. При этом с целью обеспечения консервативности рекомендуется прогноз параметров РН представлять с учетом его погрешности, то есть в виде:

$$P_t^* = P_t + \delta P_t, \qquad (1)$$

где: P_t^* - прогнозируемое на проектный срок службы значение параметра РН;

P_t - расчетное значение параметра РН на проектный срок службы;

δP_t - оцененные погрешности соответствующих величин для уровня доверительной вероятности 0,95.

28. Процедуру прогноза, критерии контроля и принимаемые меры рекомендуется разрабатывать эксплуатирующей организацией с учетом того, что к концу проектного срока службы проектные значения параметров РН не были превышены.

29. В части обеспечения консерватизма исходных данных, применяющихся

при оценках параметров РН оборудования, рекомендуется проводить оценку неопределенности расчетных значений всех функционалов поля нейтронов в характерных точках оборудования.

30. Составляющие неопределенности расчетного значения функционалов поля нейтронов на оборудовании ВВЭР, имеющие случайный характер, рекомендуется рассматривать как независимые и имеющие нормальное распределение.

31. В случае наличия экспериментальных данных, полученных на конкретном энергоблоке, рекомендуется при оценке параметров РН использовать подход по улучшенной оценке параметров с учетом неопределенности расчетных и экспериментальных методов. Рекомендации по улучшенной консервативной оценке критических параметров приведены в приложении № 5 к настоящему Руководству по безопасности. В случае отсутствия экспериментальных данных рекомендуется использовать обоснованные коэффициенты запаса (например, в соответствии с РБ-007-99).

32. Результаты прогнозных оценок рекомендуется корректировать в сторону уменьшения, с учетом уточнения консервативных коэффициентов запаса по мере усовершенствования расчетной методики, позволяющей получить лучшее совпадение с измерениями, проведенными ранее, или при проведении дополнительных измерений на АС и последующем тестировании расчетных результатов.

V. Рекомендации к мониторингу критериев радиационной повреждаемости оборудования с использованием образцов-свидетелей

33. Контроль (учет) критериев радиационной повреждаемости по ОС рекомендуется проводить в соответствии с программой контроля критериев радиационной повреждаемости по ОС. Программу (регламент) контроля рекомендуется составлять для каждой РУ. Программа разрабатывается эксплуатирующей организацией. Примерное содержание программы приведено в приложении № 6 к настоящему Руководству по безопасности.

34. Мониторинг критериев радиационной повреждаемости оборудования с использованием ОС рекомендуется проводить специализированным организациям, имеющим соответствующую лицензию, квалифицированных работников с соответствующим опытом работы и привлекаемых эксплуатирующей организацией для реализации материаловедческих исследований ОС.

35. Для оборудования, в отношении которого предусмотрен мониторинг критериев радиационной повреждаемости, рекомендуется предусматривать места вырезки металла для эксплуатационного разрушающего контроля, перечень образцов, изготовленных из вырезанного металла, и соответствующие методы разрушающего контроля. Необходимость вырезки образцов из оборудования обосновывается эксплуатирующей организацией и выполняется после принятия соответствующего решения и внесения изменений в ООБ АС.

36. Процедура контроля критериев радиационной повреждаемости по ОС включает в себя:

анализ исходных данных;

реализацию контроля критериев радиационной повреждаемости с использованием ОС;

оценку результатов контроля критериев радиационной повреждаемости.

37. Анализ исходных данных рекомендуется проводить с использованием следующих результатов мониторинга:

предельно допустимых значений критериев радиационной повреждаемости металла оборудования, установленных проектом РУ;

консервативных прогнозных зависимостей критериев радиационной повреждаемости металла оборудования от параметра РН, установленных проектом РУ;

значений параметра РН, соответствующих проектному сроку службы, и отношения значений различных параметров РН между собой (например, ФБН к СНА) в характерных точках металла оборудования, установленных в проекте РУ.

38. Рекомендуемая процедура контроля критериев радиационной повреждаемости с использованием ОС включает в себя следующие позиции:

на момент выгрузки партии ОС (или вырезки образцов металла оборудования)[2] определяется текущее значение параметра РН в характерной точке оборудования с оценкой неопределенности параметра, соответствующей уровню доверительной вероятности 0,95;

на основе испытаний выгруженной партии ОС (или вырезанных образцов металла оборудования) определяется значение критериев радиационной повреждаемости и устанавливаются для него (для них) значения параметров РН, полученные с использованием НАД сопровождения и расчетов переноса нейтронов. Значения критериев радиационной повреждаемости и параметров РН представляются с оценкой неопределенности, соответствующей уровню доверительной вероятности 0,95;

для установленного значения параметра РН на ОС с использованием прогнозной зависимости критериев радиационной повреждаемости металла оборудования от параметра РН, установленной в проекте РУ, определяется прогнозное (среднее) значение критериев радиационной повреждаемости металла оборудования;

оцененное по ОС значение критериев радиационной повреждаемости металла оборудования сравнивается с прогнозным (средним) значением критериев радиационной повреждаемости металла оборудования, с учетом неопределенности значения критериев радиационной повреждаемости на ОС, неопределенности параметра РН на ОС и неопределенности прогнозной зависимости критериев радиационной повреждаемости, обусловленной неопределенностью значения текущего параметра РН в характерной точке оборудования.

39. Рекомендуется учитывать следующие факторы при оценке результатов контроля критериев радиационной повреждаемости:

результаты контроля считаются удовлетворительными, если оцененное по

[2] Далее под ОС, если особо не оговорено, понимается партия выгруженных ОС или вырезанные образцы металла КР, предназначенные для оценки текущего значения параметра РН.

ОС значение критериев радиационной повреждаемости металла оборудования не превышает прогнозное значение критерия с учетом их неопределенности, то есть области неопределенности не перекрываются;

результаты контроля считаются приемлемыми, если области неопределенности перекрываются, но оцененное по ОС значение критериев радиационной повреждаемости металла оборудования не превышает нижнюю границу неопределенности прогнозного значения параметра. При дальнейшей эксплуатации оборудования рекомендуется принимать меры, обеспечивающие снижение РН на оборудование (или другие адекватные решения), с соответствующей корректировкой ООБ АС;

результаты контроля считаются приемлемыми, если оцененное по ОС значение критериев радиационной повреждаемости металла оборудования находится в пределах границ неопределенности прогнозного значения параметра. При дальнейшей эксплуатации выгрузка и испытания следующей партии ОС рекомендуется выполнить до срока, когда обеспечена консервативность прогнозной зависимости с учетом неопределенности;

результаты контроля считаются неудовлетворительными (не приемлемыми), если оцененное по ОС значение критериев радиационной повреждаемости металла оборудования превышает верхнюю границу неопределенности прогнозного значения критериев радиационной повреждаемости. Возможность дальнейшей эксплуатации КР определяется соответствующим решением эксплуатирующей организации, содержащим обоснование непревышения предельно допустимого значения критериев радиационной повреждаемости металла КР к концу проектного срока службы, представленного в ООБ.

40. Мониторинг РН на ОС рекомендуется проводить для каждого ОС.

41. Методика учета параметров РН на ОС предусматривает оценку распределения параметров РН (с обоснованной оценкой погрешности) по объему ОС, усредненных за время облучения контейнера с ОС в реакторе и приведенных к номинальной мощности. При форме ОС в виде параллелепипеда с V-образным вырезом (тип Шарпи) определяются параметры РН в восьми углах параллелепипеда, а также в основании V-образного выреза. Рекомендуется разрабатывать алгоритм интерполяции (определения) параметров РН по объему ОС.

42. Методика учета параметров РН на ОС обосновывается с учетом нейтронно-активационных измерений с использованием НАД сопровождения (или измерений активности материала ОС).

43. При сравнении и оценке результатов контроля критериев радиационной повреждаемости оборудования с использованием результатов контроля по ОС вместо коэффициентов опережения на основе ФБН рекомендуется использовать значения коэффициентов опережения на основе СНА, если коэффициент опережения по СНА меньше коэффициента опережения по ФБН (с учетом рекомендаций по использованию параметра СНА в приложении № 7 к настоящему Руководству по безопасности).

44. Рекомендуется определить критерий корректности оцениваемого по ОС

значения критериев радиационной повреждаемости, исходя из необходимого и достаточного количества ОС в выгруженной партии результатов испытаний ОС.

45. При этом рекомендуется учитывать, что разброс параметра РН (ФБН и (или) СНА) по группе ОС, используемых для определения критериев радиационной повреждаемости, не должен превышать ±10% относительно среднего по группе значения параметра РН (ФБН и (или) СНА). Температура облучения ОС не должна отличаться от рабочей температуры оборудования более чем на 10 °С.

46. Контрольный комплект ОС рекомендуется поставлять для основного материала всех обечаек и материала всех сварных соединений КР, для которых к концу проектного срока службы ФБН превысит значение 10^{18} нейтр./см^2 и в которых:

имеется различие в химическом составе основных элементов и примесей;

имеется различие в термообработке;

имеется различие в технологии сварки и в партии сварочных материалов.

47. Выгрузку и испытания ОС рекомендуется осуществлять не менее 6 раз за проектный срок службы КР. Первый раз выгрузку и испытания ОС рекомендуется проводить через 3 года (при использовании новых, не апробированных материалов) после начала эксплуатации. Периодичность выгрузки рекомендуется устанавливать с тем условием, что к моменту первой выгрузки ФБН (с энергией больше 0,5 МэВ) на КР будет составлять не менее 10^{18} нейтр./см^2. Номенклатуры ОС первой выгрузки рекомендуется выбирать в соответствии с номенклатурой ОС контрольного комплекта с целью проверки чувствительности металла КР к нейтронному облучению и оценки коэффициентов опережения. Периодичность выгрузки ОС рекомендуется уточнять по результатам испытаний ОС предыдущих выгрузок и с учетом того, что ФБН на ОС последней выгрузки должен превышать проектный ФБН на КР. Выгрузки между первой и последней рекомендуется распределять равномерно по набираемому значению ФБН, при этом следует предусмотреть, чтобы набираемый ФБН между последовательными выгрузками соответствовал эксплуатации КР не более 10 лет.

48. В зависимости от результатов испытаний ОС первой выгрузки последующие сроки выгрузки могут быть изменены по согласованию между эксплуатирующей организацией, разработчиком проекта РУ и материаловедческой организацией.

49. ОС рекомендуется устанавливать таким образом, чтобы коэффициент опережения по значению параметра РН на оборудование находился в пределах от 1 до 2 по сравнению с максимальными значениями параметра РН на оборудовании.

VI. Рекомендации по альтернативной оценке радиационного ресурса оборудования с учетом результатов мониторинга

50. В соответствии с принципом оценки радиационного повреждения металла оборудования ВВЭР под действием РН критерию радиационной повреждаемости ставится в соответствие параметр РН.

Примечание. Например, в соответствии с "Нормами расчета на прочность

оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок" (ПНАЭ-Г-7-002-86), утвержденными постановлением Госатомэнергонадзора СССР от 05 ноября 1986 г. № 5, критической температуре хрупкости ставится в соответствие ФБН.

51. Предельное значение параметра РН рекомендуется выбирать из условия достижения критерия радиационной повреждаемости своего предельного значения. Предельное значение критериев радиационной повреждаемости рекомендуется определять на момент окончания назначенного срока эксплуатации оборудования и приводить в проектной и конструкторской документации. В случае отсутствия предельного значения для критериев радиационной повреждаемости эксплуатирующей организации рекомендуется выбирать предельное значение параметра РН исходя из имеющихся проектных оценок параметров РН на конец обоснованного проектного срока службы.

52. Полученные в процессе мониторинга параметры РН и функционалы поля нейтронов рекомендуется использовать при оценках радиационного ресурса. Рекомендуется использовать следующие зависимости:

1) радиационный ресурс контрольных структур - τ (характерных точек оборудования), подверженных нейтронному облучению (например, если в качестве параметра РН используется ФБН), определяется так:

$$\tau = \frac{[F]}{\Phi_{max}}, \qquad (2)$$

где: [F] - предельный допускаемый флюенс нейтронов в характерной (критической) точке контрольной структуры;

Φ_{max} - принятая максимальная СНФ нейтронов в характерной точке контрольной структуры;

2) остаточный радиационный ресурс структур τ^* определяется так:

$$\tau^* = \frac{[F] - F_t}{\Phi_{max}}, \qquad (3)$$

где: F_t - накопленный флюенс нейтронов на момент проведения оценки в той же точке.

В формулах (2) - (3) вместо флюенса могут использоваться любые другие параметры РН, установленные для различного оборудования.

53. С позиции консервативного подхода, там, где ослабление одного параметра РН (например, флюенса) больше, чем ослабление другого параметра (например, СНА), рекомендуется использовать коэффициенты ослабления, полученные по СНА. Рекомендации по использованию параметра СНА приведены в приложении № 7 к настоящему Руководству по безопасности.

VII. Рекомендации по сбору, систематизации и хранению данных мониторинга радиационной нагрузки и оценки ресурса

54. Для строящихся и проектируемых АС эксплуатирующей организации

рекомендуется до ввода энергоблока АС в эксплуатацию организовать и отладить систему сбора, обработки, систематизации, анализа и хранения информации по результатам мониторинга РН.

55. Указанную информацию рекомендуется хранить в течение всего срока службы оборудования в виде компьютерной БД, позволяющей в случае необходимости оперативно на любом этапе жизненного цикла провести сравнение предельных и фактических параметров РН.

56. В указанной БД для каждого типа оборудования, выбранного для проведения мониторинга, рекомендуется вводить следующие данные:

все паспортные данные на оборудование;

данные по специализированным организациям, оказывающим услуги эксплуатирующей организации по сопровождению эксплуатации и мониторингу РН;

сведения о наличии или отсутствии отклонений от конструкторской (проектной) документации на оборудование;

результаты испытаний ОС оборудования при эксплуатации АС;

данные по опыту эксплуатации оборудования;

результаты мониторинга РН оборудования;

данные по повреждениям, их накоплению и развитию, механизмам старения, отказам и нарушениям в работе;

результаты мониторинга РН оборудования и используемые предельные значения параметров;

данные по полученным оценкам остаточного ресурса оборудования.

57. Эксплуатирующей организации рекомендуется устанавливать порядок сбора и систематизации данных по мониторингу РН для информационной поддержки БД. В проекте АС обосновываются меры и порядок восстановления недостающих данных при их отсутствии.

58. Математическое и программное обеспечение БД рекомендуется разрабатывать таким образом, чтобы оно позволяло на любом этапе жизненного цикла блока АС обеспечить возможность сопоставления параметров РН, а также анализа информации об условиях эксплуатации оборудования АС и их влиянии на остаточный радиационный ресурс.

59. Порядок формирования и поддержания в актуальном состоянии БД определяется инструкцией и зависит от выбора системы ее управления.

60. Хранение БД выполняется как в электронном виде, так и на бумажном носителе. Доступ к БД рекомендуется ограничивать числом персонала, ответственным за мониторинг параметров РН.

61. Для восстановления данных, включенных в базу, в случае логических или физических сбоев рекомендуется предусматривать создание резервной копии на отдельном учтенном носителе.

62. Для АС, находящихся на стадии эксплуатации и на которых ведение БД не предусмотрено, эксплуатирующей организации рекомендуется организовать работы по разработке и вводу в действие компьютерной БД, указанной в пункте 56 настоящего Руководства по безопасности.

Приложение № 1
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
"Мониторинг радиационной нагрузки
и определение радиационного ресурса
оборудования ВВЭР", утвержденному
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 1 июня 2018 г. № 239

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АС	-	атомная станция
БД	-	база данных
ВВЭР	-	водо-водяной энергетический реактор
ВКУ	-	внутрикорпусные устройства
КР	-	корпус реактора
НАД	-	нейтронно-активационный детектор
ОКР	-	опорные конструкции реактора
ОС	-	образец-свидетель
ООБ	-	отчет по обоснованию безопасности
ПС	-	программное средство
РН	-	радиационная нагрузка
РУ	-	реакторная установка
СНА	-	смещения на атом
СНФ	-	скорость накопления флюенса
СНФ БН	-	скорость накопления ФБН с энергией больше 0,5 МэВ
ФБН	-	флюенс быстрых нейтронов с энергией больше 0,5 МэВ

Приложение № 2
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
"Мониторинг радиационной нагрузки
и определение радиационного ресурса
оборудования ВВЭР", утвержденному
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 1 июня 2018 г. № 239

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем Руководстве по безопасности используются следующие термины и определения.

1. **Дополнительный срок эксплуатации** - календарная продолжительность (период) эксплуатации блока АС на мощности сверх назначенного срока службы.

2. **Коэффициент опережения** - величина, равная отношению значения усредненной расчетно-экспериментальной СНФ БН или ФБН с энергией больше 0,5 МэВ, воздействовавших на ОС за все время их облучения, к соответствующему максимальному значению в интересующей зоне внутренней поверхности КР за период облучения ОС.

3. **Мониторинг радиационной нагрузки** - система учета и контроля радиационной нагрузки, проводимая регулярно по определенной программе для оценки параметров радиационной нагрузки и прогноза их изменения в процессе эксплуатации АС.

Примечание. Различают два вида мониторинга:

расчетно-экспериментальный мониторинг - мониторинг, который осуществляется на основе измерений параметра, характеризующего радиационную нагрузку, а также расчета по аттестованным ПС, результаты которого позволяют перейти от измеренной величины одного параметра в точке измерения к величине критического параметра в критической точке, который необходимо мониторировать;

расчетный мониторинг радиационной нагрузки - мониторинг, который осуществляется только на основе расчетов радиационной нагрузки на оборудование по аттестованным ПС. Данный вид мониторинга применяется для такого оборудования и для тех точек контроля, где по различным причинам на данном этапе развития науки и техники невозможно осуществление измерений и проведения расчетно-экспериментального мониторинга.

4. **Повреждения радиационные** - деградация структуры и свойств металлов при воздействии на них нейтронного и гамма-излучения (наиболее типичные проявления этого процесса: распухание, ползучесть, упрочнение, охрупчивание и изменение физических свойств металла). Условие достижения критического радиационного повреждения характеризуется достижением критерия радиационной повреждаемости своего предельного значения (например, для радиационного охрупчивания критерий радиационной повреждаемости - критическая температура хрупкости).

5. **Повреждение** - событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния (ГОСТ 27.002-2015 "Надежность в технике. Термины и определения" введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 июня 2016 г. № 654-ст) (далее - ГОСТ 27.002-2015).

Примечание. 1) Дефект и (или) повреждение могут служить причиной возникно-

вения частичного или полного отказа объекта. 2) Наличие дефекта и (или) повреждения приводит объект в неисправное состояние.

6. **Предельное состояние** - состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно (ГОСТ 27.002-2015).

7. **Продление срока эксплуатации** - деятельность по подготовке блока АС к эксплуатации в период дополнительного срока.

8. **Радиационное охрупчивание** - снижение пластических свойств и вязкости разрушения под воздействием нейтронного облучения (критерий радиационной повреждаемости - *критическая температура хрупкости (вязкости разрушения)*).

9. **Радиационная нагрузка** - воздействие нейтронов реактора на металл оборудования реактора, вызывающее радиационные повреждения кристаллической решетки металла (параметры радиационной нагрузки, параметры нейтронного облучения или облучения гамма-квантами) - ФБН и повреждающая доза (число смещений на атом от нейтронов и гамма-квантов).

10. **Радиационный ресурс** - прогнозируемое время работы реактора на номинальной мощности, в течение которого выполняются условия, при которых обеспечивается сохранение свойств материала оборудования в зависимости от степени радиационного повреждения.

11. **Скорость накопления флюенса быстрых нейтронов (Ф, нейтр./(см^2*с))** - средняя за время накопления флюенса быстрых нейтронов (например, время кампании или облучения) плотность потока нейтронов с энергией больше 0,5 МэВ, приведенная к номинальному уровню тепловой мощности реактора.

12. **Специализированная организация** - юридическое лицо, привлекаемое на основе контракта или гражданско-правового договора к проведению проектных, конструкторских, материаловедческих работ по управлению ресурсными характеристиками, располагающая условиями выполнения этих работ, подготовленным установленным порядком персоналом для их проведения и имеющая лицензию Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору на проведение данного вида работ.

13. **Условия эксплуатации** - совокупность факторов, действующих на изделие при его эксплуатации (ГОСТ 25866-83 "Эксплуатация техники. Термины и определения", утвержден постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 13 июля 1983 г. № 3105).

14. **Флюенс быстрых нейтронов (F, нейтр./см^2)** - флюенс нейтронов с энергией больше 0,5 МэВ.

Примечание. ФБН может быть выражен произведением СНФ БН на эффективное время работы реактора.

15. **Характерные точки оборудования** - точки максимального значения параметра РН на основном металле и сварных швах оборудования за назначенный срок эксплуатации (для КР, точки находящиеся в пределах значений ФБН более $1 \cdot 10^{18}$ нейтр./см^2).

16. **Повреждающая доза (число смещений на атом)** - интегральная характеристика, отражающая степень радиационного повреждения металла, определяемая как накопленное за определенное время число смещений одного атома из узла кристаллической решетки под действием нейтронного и гамма-излучения. Зависит от спектра ионизирующего излучения, времени облучения, числа атомов в единице объема, сечения столкновений, вызывающих смещения.

Приложение № 3
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
"Мониторинг радиационной нагрузки
и определение радиационного ресурса
оборудования ВВЭР", утвержденному
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 1 июня 2018 г. № 239

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБЪЕКТАМ И ОБЪЕМУ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ

1. Реакторы ВВЭР-440.

1) Корпус реактора.

Рекомендуемые места мониторинга:

внутренняя поверхность (основной металл, сварные соединения № 4, № 5) - расчетно-экспериментальный мониторинг (РБ-007-99, РБ-018-01);

внешняя поверхность (основной металл, сварные соединения № 4, № 5) - расчетно-экспериментальный мониторинг (РБ-007-99, РБ-018-01);

1/4 толщины (основной металл, сварные соединения № 4, № 5) - расчетный мониторинг.

2) Внутрикорпусные устройства (выгородка, обечайка корзины, шахта внутрикорпусная с экраном).

Рекомендуемые места мониторинга:

внутренняя поверхность - расчетный мониторинг.

3) Опорные конструкции ВВЭР-440 первого поколения (бак кольцевой, опора, кольцо опорное).

Рекомендуемые места мониторинга:

внутренняя стенка кольцевого бака - расчетно-экспериментальный мониторинг;

ребра кольцевого бака - расчетный мониторинг;

опора - расчетно-экспериментальный мониторинг;

кольцо опорное - расчетно-экспериментальный мониторинг.

4) Опорные конструкции ВВЭР-440 второго поколения (ферма опорная, кольцо опорное).

Рекомендуемые места мониторинга:

внутренняя поверхность фермы опорной - расчетно-экспериментальный мониторинг;

ребра фермы опорной - расчетный мониторинг;

кольцо опорное - расчетно-экспериментальный мониторинг.

2. Реакторы ВВЭР-1000.

1) Корпус реактора.

Рекомендуемые места мониторинга:

внутренняя поверхность (антикоррозионная наплавка, основной металл, сварные соединения № 3, № 4, № 5) - расчетно-экспериментальный мониторинг (РБ-007-99, РБ-018-01);

внешняя поверхность (основной металл, сварные соединения № 3, № 4, № 5) - расчетно-экспериментальный мониторинг (РБ-007-99, РБ-018-01);

1/4 толщины (основной металл, сварные соединения № 3, № 4, № 5) - расчетный мониторинг.

2) Внутрикорпусные устройства (выгородка, шахта внутрикорпусная).

Рекомендуемые места мониторинга:

внутренняя и внешняя поверхность выгородки, каналы выгородки - расчетный мониторинг;

внутренняя и внешняя поверхность шахты внутрикорпусной - расчетный мониторинг.

3) Опорные конструкции (ферма опорная, кольцо опорное).

Рекомендуемые места мониторинга:

внутренняя поверхность фермы опорной - расчетно-экспериментальный мониторинг;

ребра фермы опорной - расчетный мониторинг;

кольцо опорное - расчетно-экспериментальный мониторинг.

3. Реакторы ВВЭР-1200 и ВВЭР-ТОИ.

1) Корпус реактора.

Рекомендуемые места мониторинга:

внутренняя поверхность (антикоррозионная наплавка, основной металл, сварные соединения № 2, № 3 - ВВЭР-1200, № 1 и № 2 - ВВЭР-ТОИ) - расчетно-экспериментальный мониторинг (РБ-007-99, РБ-018-01);

внешняя поверхность (основной металл, сварные соединения № 2, № 3 - ВВЭР-1200, № 1 и № 2 - ВВЭР-ТОИ) - расчетно-экспериментальный мониторинг (РБ-007-99, РБ-018-01);

1/4 толщины (основной металл, сварные соединения № 2, № 3 - ВВЭР-1200, № 1 и № 2 - ВВЭР-ТОИ) - расчетный мониторинг.

2) Внутрикорпусные устройства (выгородка, шахта внутрикорпусная).

Рекомендуемые места мониторинга:

внутренняя и внешняя поверхность выгородки, каналы выгородки - расчетный мониторинг;

внутренняя и внешняя поверхность шахты внутрикорпусной - расчетный мониторинг.

3) Опорные конструкции (ферма опорная, кольцо опорное).

Рекомендуемые места мониторинга:

внутренняя поверхность фермы опорной - расчетно-экспериментальный мониторинг;

ребра фермы опорной - расчетный мониторинг;

кольцо опорное - расчетно-экспериментальный мониторинг.

Приложение № 4
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
"Мониторинг радиационной нагрузки
и определение радиационного ресурса
оборудования ВВЭР", утвержденному
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 1 июня 2018 г. № 239

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ПАРАМЕТРОВ РАДИАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ, РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ДЛЯ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА

1. Параметры РН рассматриваются по отношению к металлу (стали) структур и позициям реактора типа ВВЭР, которые находятся в области постоянного воздействия нейтронного и гамма-излучения: КР, опорные конструкции реактора, позиции размещения ОС, внутрикорпусные устройства.

2. Параметры РН оцениваются во всем пространстве контрольных структур и позиций.

3. Определение параметров РН:

1) ФБН и СНФ БН в соответствии с РБ-007-99;

2) Повреждающая доза (СНА) от нейтронов или гамма-квантов (D) в виде:

$$D = F(>0)\cdot\int_0^{\infty}\sigma_d(E)\cdot f(E)dE, \qquad (1)$$

где: F(>0) - флюенс нейтронов или гамма-квантов с энергиями выше 0 МэВ;

$\sigma_d(E)$ - сечение повреждения металла нейтронами или гамма-квантами;

$f(E)$ - функция спектра нейтронов или гамма-квантов, нормированная на единицу.

3) Скорость набора повреждающей дозы (СНА) от нейтронов или гамма-квантов:

$$\frac{D}{c} = \Phi(>0)\cdot\int_0^{\infty}\sigma_d(E)\cdot f(E)dE, \qquad (2)$$

где: Ф(> 0) - СНФ нейтронов или гамма-квантов с энергиями выше 0 МэВ, с - секунда.

4. Оценка флюенса, СНФ, спектра нейтронов и гамма-квантов в контрольных структурах и позициях проводится расчетным путем.

5. Параметры скорости СНА и число смещений на атом вычисляются как:

$$D/c = \sum_{g=1}^{G}\sigma_g\cdot\Phi_g, \qquad (3)$$

$$D = D/c \cdot T_{эфф}, \quad (4)$$

где: G - количество энергетических групп в библиотеке;

σ_g - групповое сечение смещения, барн;

Φ_g - полная СНФ нейтронов в группе, $1/(см^2 \cdot с)$.

6. Для корректной оценки старения оборудования действующих ВВЭР в рамках программ мониторинга РН оборудования рекомендуется также использовать следующие параметры РН и функционалы поля нейтронов, которые рассчитываются по нижеследующим формулам:

спектральные индексы - SI:

$$SI(E_1/E_2) = \Phi(E > E_1)/\Phi(E > E_2), \quad (5)$$

где: $\Phi(E > E_1)$ и $\Phi(E > E_2)$ - скорости накопления ФБН с энергией $E > E_1$ и $E > E_2$;

коэффициенты ослабления скорости накопления от точки i к точке j - AF:

$$AF(E_0,i \rightarrow j) = \Phi(E_0,i)/\Phi(E_0,j), \quad (6)$$

где: $\Phi(E_0,i)$ и $\Phi(E_0,j)$ - скорости накопления ФБН с энергией $E > E_0$ в точках i и j.

Приложение № 5
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
"Мониторинг радиационной нагрузки
и определение радиационного ресурса
оборудования ВВЭР", утвержденному
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 1 июня 2018 г. № 239

МЕТОДИКА УЛУЧШЕННОЙ КОНСЕРВАТИВНОЙ ОЦЕНКИ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

1. Улучшенная оценка критического параметра проводится с учетом расчетных и экспериментальных неопределенностей. Под критическим параметром можно рассматривать любой параметр, для которого проводится расчетно-экспериментальная оценка (например, параметр РН или критерий радиационной повреждаемости).

На рис. 1 приведена принципиальная схема расчетно-экспериментальной процедуры по оценкам критических параметров. На каждом этапе расчетно-экспериментального анализа выделены возможные неопределенности.

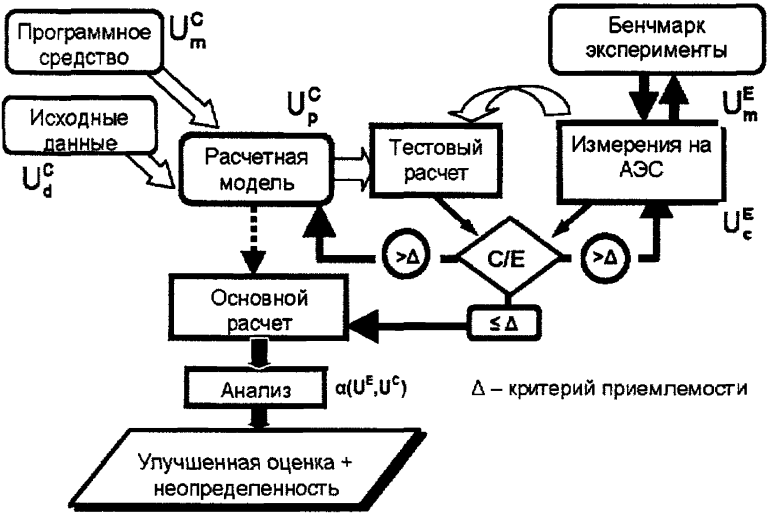


Рис. 1. Принципиальная схема расчетно-экспериментальной процедуры по оценкам критических параметров

2. Результаты экспериментальных данных характеризуются неопределенностью результата измерений в сторону больших или меньших значений соответственно U^{E-}.

3. Каждая часть отмеченной неопределенности может быть выражена следующим образом:

$$U^{E+} = \sqrt{\left(U_S^E\right)^2 + \left(U_\delta^{E+}\right)^2 + \left(U_C^E\right)^2}, \quad (1)$$

$$U^{E-} = \sqrt{\left(U_S^E\right)^2 + \left(U_\delta^{E-}\right)^2 + \left(U_C^E\right)^2}, \quad (2)$$

где: U_S^E - статистическая неопределенность результата измерений;

U_C^E - неопределенность, обусловленная представительностью контроля;

$U_\delta^{E+} = \frac{\delta}{1-\delta}$; $U_\delta^{E-} = \frac{\delta}{1+\delta}$ - неопределенности, обусловленные погрешностями средств измерений и методики измерений, где: $\delta = \sqrt{\left(u_I^E\right)^2 + \left(u_M^E\right)^2}$ - доверительная неопределенность применяемых средств измерений и метода; u_I^E - неопределенность применяемых средств измерений; u_M^E - неопределенность, обусловленная методикой обработки результата измерений.

4. В соответствии с существующей практикой расчетно-экспериментальных исследований, уровень доверительной вероятности при оценках неопределенности принят равным P = 0,95.

5. Результаты расчетных исследований характеризуются неопределенностью U^C, которая может быть выражена следующим соотношением:

$$U^C = \sqrt{\left(U_M^C\right)^2 + \left(U_d^C\right)^2 + \left(U_p^C\right)^2}, \quad (3)$$

где: U_M^C - неопределенность, связанная с методической погрешностью ПС;

U_d^C - неопределенность, обусловленная погрешностями в исходных данных;

U_p^C - неопределенность, связанная с неточностями расчетной модели.

6. В качестве критерия приемлемости сравнения расчетных и экспериментальных результатов рекомендуется использовать уровень 10 - 15% (в отношении расчетных данных к экспериментальным данным).

7. Улучшенная консервативная оценка параметра может быть выражена через некоторый фактор, который зависит от выявленных расчетных и экспериментальных неопределенностей с учетом сопоставления расчетных и экспериментальных результатов.

8. При экспертных оценках рекомендуется использовать следующее выражение в оценке параметра:

$$P\gamma = C(1+\alpha), \quad (4)$$

где: $P\gamma$ - улучшенная оценка параметра;

C - расчетная оценка параметра;

α - консервативная поправка для учета неопределенностей, которая зависит от

отношения расчетных оценок (C - calculation) к экспериментальным (E - experimental) - C/E, а также расчетных и экспериментальных неопределенностей.

9. При имеющихся сравнениях расчетных и экспериментальных результатов рекомендуется использовать следующий подход. Выражение для консервативной поправки выбирается в зависимости соотношения расчетных и экспериментальных данных.

1) Расчетные оценки совпадают с экспериментальными в пределах неопределенности эксперимента, т.е. если выполнено условие:

$$\left|1-\frac{C}{E}\right| \le U^{E-}, (\mathrm{P}=0{,}95), \tag{5}$$

тогда консервативная поправка может быть выражена следующим образом:

$$\alpha = U^{E+}. \tag{6}$$

Ввиду того, что неопределенности результата измерений из практики проведения расчетно-экспериментальных исследований оказывается довольно малой величиной, рекомендуется использовать оценку неопределенности для уровня доверительной вероятности при P = 0,99.

2) Расчетные оценки близки с экспериментальными, но расхождение расчетных и экспериментальных данных превышает неопределенность эксперимента, т.е. если выполнено условие:

$$\left|1-\frac{C}{E}\right| > U^{E+}, (\mathrm{P}=0{,}95), \tag{7}$$

тогда необходимо проведение анализа соотношения расчетных и экспериментальных данных (C/E).

3) Если расчетные оценки получаются ниже экспериментальных, т.е. расчет дает менее консервативную оценку и выполнено условие:

$$\frac{C}{E} < 1, \tag{8}$$

тогда консервативная поправка может быть выражена следующим образом:

$$\alpha = \left|1-\frac{C}{E}\right| + U^{E+}. \tag{9}$$

4) Если расчетные оценки получаются выше экспериментальных, т.е. расчет дает более консервативную оценку и выполнено условие:

$$\frac{C}{E} \ge 1, \tag{10}$$

тогда консервативная поправка может быть выражена следующим образом:

$$\alpha = U_M^C. \tag{11}$$

Приложение № 6
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
"Мониторинг радиационной нагрузки
и определение радиационного ресурса
оборудования ВВЭР", утвержденному
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 1 июня 2018 г. № 239

РЕКОМЕНДУЕМОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ КОНТРОЛЯ КРИТЕРИЕВ РАДИАЦИОННОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ПО ОБРАЗЦАМ-СВИДЕТЕЛЯМ

1. Перечень контролируемых зон оборудования.
2. Перечень и места установки ОС.
3. Виды контроля и их объем для каждой из контролируемых зон.
4. Число комплектов ОС, типы и число ОС в комплекте.
5. Периодичность и сроки выгрузки контейнеров и испытаний ОС.
6. Число комплектов в первой выгрузке и каждой последующей с приведением схем размещения относительно активной зоны реактора.
7. Сведения о размещении и креплении ОС.
8. Координаты зон выгрузки ОС для разрушающего контроля.
9. Описание методики контроля.
10. Требования к оборудованию, применяемому при испытаниях.
11. Критерии корректности результатов испытаний.
12. Перечень специальных средств контроля (при их наличии).
13. Перечень необходимых для выполнения контроля параметров РН по ОС технических и организационных мероприятий.
14. Ссылки на документы, содержащие описание процедуры оценки и использования результатов контроля.
15. Указания по способам обработки полученных результатов, критериям контроля и отчетной документации.

Приложение № 7
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
"Мониторинг радиационной нагрузки
и определение радиационного ресурса
оборудования ВВЭР", утвержденному
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 1 июня 2018 г. № 239

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПАРАМЕТРА ПОВРЕЖДАЮЩЕЙ ДОЗЫ (СНА), ФЛЮЕНСА НЕЙТРОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ И ПРОГНОЗА ДЕГРАДАЦИИ СВОЙСТВ КР ПО ОБРАЗЦАМ-СВИДЕТЕЛЯМ

Использование параметра повреждающей дозы (СНА), флюенса нейтронов и гамма-квантов при оценке обоснования радиационного ресурса

1. В соответствии с принципом, отмеченным в пункте 54 настоящего Руководства по безопасности, ФБН (E > 0,5 МэВ) рекомендуется поставить в соответствие другой параметр РН, который неразрывно связан с ним по физическому смыслу. Тогда параметр СНА рекомендуется выражать через ФБН следующим образом:

$$D = F(\geq 0{,}5) \cdot \frac{F(>0)}{F(\geq 0{,}5)} \cdot \int_0^{\infty} \sigma_d(E) \cdot f(E) dE = F(\geq 0{,}5) \cdot SP, \quad (1)$$

$$\frac{D}{c} = \Phi(\geq 0{,}5) \cdot \frac{\Phi(>0)}{\Phi(\geq 0{,}5)} \cdot \int_0^{\infty} \sigma_d(E) \cdot f(E) dE = \Phi(\geq 0{,}5) \cdot SP, \quad (2)$$

где: $F(\geq 0{,}5)$ - флюенс нейтронов или гамма-квантов с энергиями выше 0,5 МэВ;

SP - фактор, учитывающий вклад спектра нейтронов или гамма-квантов в повреждения металла.

2. Рекомендуется рассматривать структуры и позиции, связанные с оборудованием (например, основной металл, сварные швы, ОКР, ВКУ). В этих структурах рекомендуется определять характерные точки (наиболее напряженные с точки зрения радиационного повреждения), для которых принимается обозначение с индексом "ХТ". Среди "ХТ" рекомендуется выделить реперную точку, например, максимум ФБН (E > 0,5 МэВ) в основном металле КР, характеристики которой будут использоваться для оценок предельных допускаемых параметров РН. Обозначим эту точку индексом "КР".

3. Предельному допускаемому флюенсу нейтронов в точке "КР", [$F_{КР}$], рекомендуется ставить в соответствие предельное допускаемое значение СНА от нейтронов и гамма-квантов (например, их сумму), [$D_{КР}$], в той же точке. Флюенсу нейтронов в точке "ХТ", $F_{ХТ}$, рекомендуется ставить в соответствие значение СНА от нейтронов и гамма-квантов (например, их сумму), $D_{ХТ}$, в той же точке.

4. Радиационный ресурс в точке "ХТ" по аналогии с формулой (2) пункта 52 настоящего Руководства по безопасности рекомендуется определять так:

$$\tau = \frac{[D_{КР}]}{D_{ХТ} / c}, \qquad (3)$$

тогда, с учетом формул (1), (2) и (3), можно записать:

$$\tau = \frac{[D_{КР}]}{D_{ХТ} / c} = \frac{[F_{КР}]}{\Phi_{ХТ}} \cdot \left(\frac{SP_{КР}}{SP_{ХТ}} \right), \qquad (4)$$

где $\left(\frac{SP_{КР}}{SP_{ХТ}} \right)$ - фактор, характеризующий влияние отличия спектров нейтронов и гамма-квантов в разных точках структур на радиационное повреждение в этих точках.

5. Рекомендуется при оценке радиационного ресурса оборудования использовать формулу (4) при оценке ресурса структур по характерным точкам, у которых "фактор спектра" меньше единицы. Такие точки определяются в расчетном анализе функционалов нейтронного поля и оценках параметров РН на оборудовании.

Использование параметра СНА, флюенса нейтронов и гамма-квантов при оценке прогноза деградации свойств по образцам-свидетелям

1. Прогноз деградации свойств стали КР проводится по следующему принципу:

набор образцов облучается в поле нейтронов и гамма-квантов в местах размещения ОС с фактором опережения по ФБН;

после облучения (например, после 3-х лет) набор образцов выгружается из мест размещения ОС и испытывается на определение критериев радиационной повреждаемости (например, критической температуры хрупкости - $T_К$);

измеренному значению критериев радиационной повреждаемости ставится в соответствие ФБН, оцененный на ОС, облученных в местах размещения ОС, $F_{ОС}$;

прогноз означает, что при достижении КР флюенса $F_{КР}$, равного $F_{ОС}$, свойство стали КР будет равным значению критериев радиационной повреждаемости, оцененному по образцам, облученным в каналах ОС.

2. Если при одинаковых флюенсах $F_{КР}$ и $F_{ОС}$ условия облучения в каналах ОС и КР в части спектра нейтронов отличаются, то прогнозное условие можно записать так:

$$D_{ОС} \equiv D_{КР} \Rightarrow F_{ОС} \cdot SP_{ОС} \equiv F_{КР} \cdot SP_{КР}, \qquad (5)$$

где индексы "ОС" и "КР" относятся к месту расположения ОС ВВЭР и критической точке КР ВВЭР, по которой оценивается радиационный ресурс.

Из условия (5) получаем:

$$F_{ОС} = F_{КР} \cdot \frac{SP_{КР}}{SP_{ОС}}. \qquad (6)$$

3. Рекомендуется использовать выражение (6) при прогнозе критического свойства оборудования, оцениваемого по ОС, облученным в местах размещения ОС, в случае если фактор $\frac{SP_{ОС}}{SP_{КР}}$ меньше единицы.

Руководство по безопасности при использовании атомной энергии

Мониторинг радиационной нагрузки и определение радиационного ресурса оборудования ВВЭР

РБ-145-18

Официальное издание
Ответственный за выпуск Синицына Т.В.
Верстка выполнена в ФБУ «НТЦ ЯРБ» в полном соответствии с приложением к приказу Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 1 июня 2018 г. № 239

Подписано в печать 21.06.2018

ФБУ «НТЦ ЯРБ» является официальным издателем и распространителем нормативных актов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20.04.06 № 384), а также официальным распространителем документов МАГАТЭ на территории России
Тираж 100 экз.
Отпечатано в ФБУ «НТЦ ЯРБ»
Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5

Система менеджмента качества ФБУ «НТЦ ЯРБ» сертифицирована на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001:2015 и национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 9001-2015

gost.e-ecolog.ru