ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ
(РОСТЕХНАДЗОР)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЗАРЕГИСТРИРОВАНО
Регистрационный № 48734
от "30" октября 2017 г.

ПРИКАЗ

05 октября 2017 г. № 409

Москва

Об утверждении федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Основные требования к обоснованию прочности внутрикорпусных устройств реакторов типа ВВЭР»

В соответствии со статьей 6 Федерального закона от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» (Собрание законодательства Российской Федерации, 1995, № 48, ст. 4552; 1997, № 7, ст. 808; 2001, № 29, ст. 2949; 2002, № 1, ст. 2; № 13, ст. 1180; 2003, № 46, ст. 4436; 2004, № 35, ст. 3607; 2006, № 52, ст. 5498; 2007, № 7, ст. 834; № 49, ст. 6079; 2008, № 29, ст. 3418; № 30, ст. 3616; 2009, № 1, ст. 17; № 52, ст. 6450; 2011, № 29, ст. 4281; № 30, ст. 4590, ст. 4596; № 45, ст. 6333; № 48, ст. 6732; № 49, ст. 7025; 2012, № 26, ст. 3446; 2013, № 27, ст. 3451; 2016, № 14, ст. 1904; № 15, ст. 2066; № 27, ст. 4289), подпунктом 5.2.2.1 пункта 5 Положения о Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 30 июля 2004 г. № 401 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2004, № 32, ст. 3348; 2006, № 5, ст. 544; № 23, ст. 2527; № 52, ст. 5587; 2008, № 22, ст. 2581; № 46, ст. 5337; 2009, № 6, ст. 738; № 33, ст. 4081; № 49, ст. 5976; 2010, № 9, ст. 960; № 26, ст. 3350; № 38, ст. 4835; 2011, № 6, ст. 888; № 14, ст. 1935; № 41, ст. 5750; № 50, ст. 7385; 2012, № 29, ст. 4123; № 42, ст. 5726; 2013, № 12, ст. 1343; № 45, ст. 5822; 2014, № 2, ст. 108; № 35, ст. 4773; 2015, № 2, ст. 491; № 4, ст. 661; № 28, ст. 4741; № 48, ст. 6789; 2017, № 12, ст. 1729; № 26, ст. 3847), приказываю:

Утвердить прилагаемые федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Основные требования к обоснованию прочности внутрикорпусных устройств реакторов типа ВВЭР» (НП-102-17).

Врио руководителя А.Л. Рыбас

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДЕНЫ
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от «05» октября 2017 г. № 409

Федеральные нормы и правила
в области использования атомной энергии
«Основные требования к обоснованию прочности внутрикорпусных устройств реакторов типа ВВЭР»

(НП–102–17)

I. Назначение и область применения

1. Настоящие федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Основные требования к обоснованию прочности внутрикорпусных устройств реакторов типа ВВЭР» (НП–102–17) (далее – Основные требования) разработаны в соответствии со статьей 6 Федерального закона от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии», постановлением Правительства Российской Федерации от 1 декабря 1997 г. № 1511 «Об утверждении Положения о разработке и утверждении федеральных норм и правил в области использования атомной энергии» (Собрание законодательства Российской Федерации, 1997, № 49, ст. 5600; 2012, № 51, ст. 7203).

2. Настоящие Основные требования должны применяться разработчиком проекта реакторной установки, а также эксплуатирующей и головной материаловедческой организациями при обосновании прочности внутрикорпусных устройств реактора проектируемых, сооружаемых и эксплуатируемых атомных станций с реакторными установками типа ВВЭР.

3. Положения настоящих Основных требований не распространяются на обоснования прочности внутрикорпусных устройств реактора при:

запроектных авариях;

повреждениях внутрикорпусных устройств реактора при транспортно-технологических операциях.

4. Список сокращений приведен в приложении № 1, термины и определения – в приложении № 2, условные обозначения – в приложении № 3 к настоящим Основным требованиям.

II. Основные положения

5. Прочность ВКУ должна быть обоснована в проекте РУ, а результаты обоснования должны представляться в ООБ АС. При внесении изменений в конструкцию ВКУ, применении новых конструкционных материалов, изменении норм ведения водно-химического режима теплоносителя первого контура РУ, изменении проектных условий эксплуатации прочность ВКУ должна быть обоснована с учетом вносимых изменений.

6. Обоснования прочности ВКУ должны основываться на результатах расчетов, подтверждающих, что предельные состояния ВКУ с учетом коэффициентов запаса прочности не будут достигнуты в течение всего проектного срока их службы во всех предусмотренных проектом РУ режимах эксплуатации ВКУ.

7. Методы, применяемые для обоснования прочности ВКУ в процессе эксплуатации, должны учитывать все нагрузки, действующие на ВКУ в процессе эксплуатации, и позволять устанавливать числовые значения параметров, определяющих достижение или недостижение предельных состояний при эксплуатации.

III. Требования к физико-механическим характеристикам конструкционных материалов внутрикорпусных устройств реактора

8. Конструкционные материалы для изготовления ВКУ должны выбираться с учетом их радиационной и коррозионной стойкости в среде теплоносителя первого контура реакторов типа ВВЭР. Указанные материалы должны иметь физико-механические характеристики, обеспечивающие назначенный срок службы ВКУ.

9. Физико-механические характеристики материалов ВКУ должны быть определены в температурном диапазоне, охватывающем все

предусмотренные проектом РУ режимы эксплуатации ВКУ, и учитывать влияние облучения. Диапазон доз и температур облучения, при которых определяются физико-механические характеристики материалов, должен быть достаточным для обоснования прочности ВКУ в течение всего назначенного срока службы. Эксплуатация элементов ВКУ при значениях доз и температур облучения, при которых физико-механические характеристики материалов не определены или не обоснованы их прогнозируемые значения, не допускается.

10. Все необходимые для обоснования прочности ВКУ физико-механические (модуль упругости первого рода, предел прочности, предел текучести, истинное напряжение при разрыве, коэффициент Пуассона, равномерное относительное удлинение, относительное удлинение, относительное сужение, деформационное упрочнение, характеристики радиационной ползучести и радиационного распухания, характеристики сопротивления коррозионному растрескиванию, параметры трещиностойкости, кривые усталости, зависимости, определяющие скорость подроста трещин при эксплуатации) и теплофизические (теплопроводность, теплоемкость, коэффициент линейного температурного расширения) характеристики материалов должны быть определены головной материаловедческой организацией. Числовые значения указанных физико-механических характеристик должны быть приведены в документах по стандартизации в области использования атомной энергии, включенных в сводный перечень документов по стандартизации, предусмотренный пунктом 6 Положения о стандартизации в отношении продукции (работ, услуг), для которой устанавливаются требования, связанные с обеспечением безопасности в области использования атомной энергии, а также процессов и иных объектов стандартизации, связанных с такой продукцией, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 12 июля 2016 г. № 669 (далее – Сводный перечень) (Собрание законодательства Российской Федерации, 2016, № 29, ст. 4839).

11. Головная материаловедческая организация должна обеспечить хранение документов, на основе которых установлены числовые значения физико-механических и теплофизических характеристик материалов, до окончания срока службы ВКУ.

12. Используемые при обосновании прочности ВКУ характеристики трещиностойкости и зависимости, определяющие зарождение и скорость подроста трещин при эксплуатации, должны учитывать деградацию материала при эксплуатации и определяться на основе экспериментальных исследований с учетом влияния дозы облучения, радиационного распухания, радиационной ползучести, температуры, химического состава теплоносителя и результатов испытаний материалов ВКУ в исследовательских реакторах.

Характеристики радиационного распухания должны определяться на основе экспериментальных и теоретических исследований с учетом влияния дозы и температуры облучения, скорости набора дозы, напряженного состояния и результатов испытаний материалов ВКУ в исследовательских реакторах.

Характеристики радиационной ползучести должны определяться на основе экспериментальных и теоретических исследований с учетом влияния дозы облучения, скорости набора дозы, радиационного распухания и результатов испытаний материалов ВКУ в исследовательских реакторах.

Характеристики прочности и пластичности должны определяться на основе экспериментальных и теоретических исследований с учетом влияния дозы и температуры облучения, радиационного распухания, напряженного состояния и результатов испытаний материалов ВКУ в исследовательских реакторах.

IV. Критерии прочности внутрикорпусных устройств реактора

13. В качестве критериев прочности ВКУ должны использоваться условия недостижения в процессе эксплуатации следующих предельных состояний:

а) охват пластической деформацией всей площади любого сечения элемента ВКУ;

б) зарождение трещины[1];

в) нестабильное развитие трещины;

г) потеря устойчивости (общей и (или) локальной);

д) предельная величина пластической деформации, при достижении которой может произойти разрушение;

е) недопустимое изменение геометрических размеров.

14. Числовые значения критериев прочности для предельного состояния, указанного в подпунктах «б», «в» и «д» пункта 13 настоящих Основных требований, должны быть определены головной материаловедческой организацией, а предельного состояния, указанного в подпункте «е» пункта 13, – организацией, спроектировавшей ВКУ. Указанные числовые значения критериев прочности должны быть обоснованы в проекте РУ и приведены в ООБ АС. При изменениях конструкции или условий эксплуатации ВКУ, применении новых материалов, изменениях норм ведения водно-химического режима теплоносителя первого контура РУ новые числовые значения указанных критериев прочности должны быть обоснованы или должно быть подтверждено сохранение их прежних значений.

V. Коэффициенты запаса для критериев прочности внутрикорпусных устройств реактора

15. В обоснованиях прочности ВКУ должны быть предусмотрены коэффициенты запаса для всех предельных состояний, перечисленных в пункте 13 настоящих Основных требований. Числовые значения коэффициентов запаса должны обеспечивать недостижение предельных состояний при эксплуатации с учетом погрешности расчетов и должны быть обоснованы экспериментально и (или) подтверждены опытом эксплуатации

[1] Данное состояние используется в качестве предельного на стадии проектирования.

реакторов типа ВВЭР (за исключением коэффициентов запаса, устанавливаемых настоящими Основными требованиями).

16. При обосновании числовых значений коэффициентов запаса необходимо учитывать:

а) опыт эксплуатации ВКУ аналогичной конструкции (при его наличии);

б) результаты экспериментов на стендах и в исследовательских реакторах;

в) погрешность расчетов радиационного повреждения элементов ВКУ, параметров напряженно-деформированного состояния и механики разрушения;

г) погрешность, вызванную разбросом значений физико-механических характеристик материалов.

VI. Требования к расчетному обоснованию прочности внутрикорпусных устройств реактора

17. Расчеты ВКУ реактора на прочность должны содержать обоснование недостижения всеми элементами конструкции ВКУ в процессе эксплуатации перечисленных в пункте 13 настоящих Основных требований предельных состояний.

18. При выполнении расчетов необходимо учитывать:

а) влияние теплоносителя первого контура РУ, нейтронного облучения и температуры на физико-механические и теплофизические свойства материалов ВКУ;

б) радиационную ползучесть, радиационное распухание материалов ВКУ в процессе эксплуатации;

в) распределение потока нейтронов и температуры по высоте и по толщине элементов ВКУ, а также в азимутальном направлении;

г) изменения геометрических размеров и формы ВКУ в процессе эксплуатации (если такие изменения имеют место);

д) механические нагрузки от веса активной зоны, собственного веса ВКУ, усилий поджатия прижимных устройств и тепловыделяющих сборок;

е) гидравлические нагрузки;

ж) перепад давления теплоносителя;

з) архимедовы (выталкивающие) силы;

и) динамические нагрузки от падения рабочих органов системы управления и защиты реактора при аварийном останове;

к) динамические нагрузки от внешних динамических воздействий;

л) силы взаимодействия между элементами ВКУ и элементами активной зоны (при наличии контакта);

м) силы взаимодействия между элементами ВКУ и другими элементами реактора.

19. Прочность элементов ВКУ должна обосновываться расчетами на:

а) статическую прочность;

б) устойчивость (общую и (или) локальную);

в) зарождение усталостной трещины с учетом влияния теплоносителя;

г) зарождение трещины по механизму коррозионного растрескивания;

д) формирование ЗПО материала;

е) стабильное развитие трещины;

ж) нестабильное развитие трещины (квазихрупкое разрушение);

з) недопустимое формоизменение;

и) предельную величину пластической деформации;

к) вибропрочность;

л) внешние ДВ.

20. Напряженно-деформированное состояние ВКУ должно определяться согласно установленной в проекте РУ последовательности режимов эксплуатации с учетом механических и температурных нагрузок, изменения физико-механических характеристик материалов в процессе

эксплуатации, а также радиационного распухания и радиационной ползучести.

VII. Расчет на статическую прочность

21. Расчет на статическую прочность должен выполняться для обоснования недостижения в процессе эксплуатации предельного состояния, указанного в подпункте «а» пункта 13 настоящих Основных требований, для всех элементов ВКУ и всех режимов эксплуатации РУ, установленных проектом.

22. При расчете на статическую прочность необходимо учитывать все действующие на ВКУ механические и гидравлические нагрузки. Классификация напряжений в элементах ВКУ должна выполняться в соответствии с приложением № 4 к настоящим Основным требованиям. Остаточные напряжения при расчете на статическую прочность не учитываются.

23. Расчет ВКУ на статическую прочность должен быть основан на ограничениях величин групп категорий напряжений, приведенных в приложении № 4 к настоящим Основным требованиям, относительно значения номинального допускаемого напряжения [σ] при расчетной температуре. Упрочнение материалов ВКУ под воздействием облучения при расчете ВКУ на статическую прочность не учитывается.

24. Значение номинального допускаемого напряжения для элементов ВКУ (кроме крепежных изделий) должно приниматься минимальным из следующих значений:

$$[\sigma] = \min \{R_m^T/n_m;\ R_{p0,2}^T/n_{0,2}\}.$$

Для крепежных изделий ВКУ величина номинального допускаемого напряжения должна определяться по формуле:

$$[\sigma]_w = R_{p0,2}^T/2.$$

25. Значения коэффициентов запаса по пределу прочности n_m должны быть не менее 2,6, а по пределу текучести $n_{0,2}$ – не менее 1,5.

26. При определении номинальных допускаемых напряжений значения R_m^T *и* $R_{p0,2}^T$ должны приниматься в соответствии с требованиями документов по стандартизации в области использования атомной энергии, включенных в Сводный перечень.

27. Суммарная величина напряжений, входящих в группу категорий напряжений $(\sigma)_1$, указанную в приложении № 4 к настоящим Основным требованиям, должна быть не более:

$[\sigma]$ – при НЭ;

1,2 $[\sigma]$ – при ННЭ;

1,4 $[\sigma]$ – при ПА.

28. Суммарная величина напряжений, входящих в группу категорий напряжений $(\sigma)_2$, указанную в приложении № 4 к настоящим Основным требованиям, должна быть не более:

1,3 $[\sigma]$ – при НЭ;

1,6 $[\sigma]$ – при ННЭ;

1,8 $[\sigma]$ – при ПА.

29. Для крепежных изделий ВКУ средние по сечению напряжения растяжения от механических нагрузок должны быть не более $[\sigma]_w$.

Средние растягивающие напряжения от механических нагрузок и температурных воздействий должны быть не более:

$1,3[\sigma]_w$ – при НЭ;

$1,6[\sigma]_w$ – при ННЭ;

$1,8[\sigma]_w$ – при ПА.

Для крепежных изделий суммарный уровень напряжений от механических и температурных нагрузок, вызывающих растяжение, изгиб и кручение, должен быть не более:

1,7 $[\sigma]_w$ – при НЭ;

2,0 $[\sigma]_w$ – при ННЭ;

2,4 $[\sigma]_w$ – при ПА.

30. Для всех элементов ВКУ и всех предусмотренных проектом РУ режимов НЭ в зонах приложения механической нагрузки средние напряжения смятия $(\sigma)_s$ не должны превышать $1{,}5R_{p0,2}^T$, а средние напряжения среза $(\tau)_s$ не должны превышать 0,5 [σ] (в крепежных изделиях – 0,25 $R_{p0,2}^T$).

При совместном воздействии механических и термических нагрузок средние напряжения среза $(\tau)_s$ не должны превышать 0,65 [σ] (в крепежных изделиях – 0,32 $R_{p0,2}^T$).

VIII. Расчет на устойчивость

31. Расчет на устойчивость должен выполняться для обоснования недостижения в процессе эксплуатации элементами ВКУ предельного состояния, указанного в подпункте «г» пункта 13 настоящих Основных требований, для всех предусмотренных проектом РУ режимов эксплуатации.

32. Расчет на устойчивость должен выполняться при наличии нагрузок, вызывающих сжимающие и (или) касательные напряжения.

33. При расчете ВКУ на устойчивость должны быть определены нагрузки, достижение которых приведет к общей потере устойчивости ВКУ или локальной потере устойчивости элементов конструкции ВКУ как при статических, так и при динамических нагрузках (критические нагрузки). По результатам расчетов должно быть обосновано, что для всех элементов конструкции ВКУ все способные привести к потере устойчивости нагрузки в процессе эксплуатации не превысят их критических значений с учетом коэффициента запаса, равного двум.

34. При расчете ВКУ на устойчивость должны учитываться:

а) изменения размеров и формы ВКУ;

б) возможность механического взаимодействия элементов ВКУ с элементами активной зоны;

в) результаты экспериментов (при их наличии) по определению критических значений нагрузок для ВКУ.

35. Числовые значения критических нагрузок или критических напряжений для элементов конструкций ВКУ должны определяться с помощью программных средств или по аналитическим зависимостям, возможность применения которых для элементов конструкций ВКУ обоснована.

IX. Расчет на зарождение усталостной трещины

36. Расчет на зарождение усталостной трещины должен проводиться с целью установления времени зарождения трещины при циклическом нагружении для всех элементов ВКУ в предусмотренных проектом РУ режимах НЭ и ННЭ.

37. Условия зарождения усталостной трещины должны устанавливаться на основании предусмотренной в проекте РУ (при проектировании) или фактической (при эксплуатации) последовательности режимов эксплуатации ВКУ по кривым усталости с учетом влияния теплоносителя, остаточных напряжений, облучения, радиационного распухания и вибрационных нагрузок.

38. Расчет на зарождение усталостной трещины в элементах ВКУ должен выполняться в соответствии с требованиями документов по стандартизации в области использования атомной энергии, включенных в Сводный перечень.

X. Расчет на зарождение коррозионной трещины

39. Расчет на зарождение коррозионного растрескивания должен проводиться с целью установления времени зарождения трещины при статическом и циклическом нагружении по механизму коррозионного растрескивания для контактирующих с теплоносителем элементов ВКУ в предусмотренных проектом РУ режимах НЭ и ННЭ.

40. Условия зарождения коррозионного растрескивания должны устанавливаться с учетом остаточных напряжений, радиационного распухания, радиационной ползучести и истории нагружения элементов ВКУ.

41. Расчет на коррозионное растрескивание в элементах ВКУ должен выполняться в соответствии с требованиями документов по стандартизации в области использования атомной энергии, включенных в Сводный перечень.

XI. Расчет на формирование зоны предельного охрупчивания материала

42. Расчет на формирование ЗПО должен проводиться с целью определения размеров зоны в элементе конструкции ВКУ, в которой металл достиг состояния предельного охрупчивания вследствие радиационного облучения. Расчет должен проводиться для всех подверженных радиационному облучению элементов ВКУ в предусмотренных проектом РУ режимах НЭ и ННЭ.

43. В качестве ЗПО должна приниматься геометрическая область в элементе конструкции ВКУ, в которой радиационное распухание превышает критическое значение, устанавливаемое головной материаловедческой организацией.

44. С момента формирования ЗПО в элементе конструкции ВКУ в этом элементе должна быть задана постулированная трещина, размеры которой определяются размерами ЗПО.

45. Расчет на формирование ЗПО и определение размеров постулированной трещины должны выполняться в соответствии с требованиями документов по стандартизации в области использования атомной энергии, включенных в Сводный перечень.

XII. Расчет на стабильное развитие трещины

46. Расчет на стабильное развитие трещины должен выполняться для определения максимально допустимых размеров трещин в элементах конструкции ВКУ в период эксплуатации ВКУ.

47. Расчет увеличения размеров трещины в режимах НЭ и ННЭ должен проводиться как для расчетных (зародившихся и постулированных)

трещин, так и для дефектов, обнаруженных при контроле состояния металла ВКУ.

48. Расчет увеличения размеров трещин должен проводиться в тех случаях, когда время до формирования ЗПО и (или) до зарождения коррозионной или усталостной трещины в элементе ВКУ меньше проектного срока службы РУ, а также при наличии технологических дефектов.

49. Расчет увеличения размеров трещины, контактирующей с теплоносителем, должен выполняться с учетом усталости, ползучести и коррозионного растрескивания.

50. Расчет увеличения размеров трещины, не контактирующей с теплоносителем, должен выполняться с учетом усталости и ползучести.

51. При расчете увеличения размеров трещины по механизму усталости должны учитываться вибрационные нагрузки на элементы ВКУ.

52. При формировании ЗПО должен быть проведен расчет на стабильное развитие трещины по механизмам усталости, ползучести и коррозионного растрескивания с учетом увеличения размеров ЗПО под облучением при эксплуатации РУ.

53. Расчет на стабильное развитие трещины должен выполняться в соответствии с требованиями документов по стандартизации в области использования атомной энергии, включенных в Сводный перечень.

XIII. Расчет на нестабильное развитие трещины

54. Расчетом на нестабильное развитие трещины должно быть обосновано, что в процессе эксплуатации реактора вплоть до конца его срока службы для всех элементов ВКУ не будет достигнуто предельное состояние, указанное в подпункте «в» пункта 13 настоящих Основных требований, для всех режимов эксплуатации РУ, установленных проектом.

55. Анализ на нестабильное развитие трещины должен выполняться с учетом результатов расчетов на стабильное развитие трещины (глава XII настоящих Основных требований).

56. Расчет на нестабильное развитие трещины должен выполняться в соответствии с требованиями документов по стандартизации в области использования атомной энергии, включенных в Сводный перечень документов по стандартизации.

XIV. Расчет на недопустимое изменение геометрических размеров

57. Расчетом на недопустимое изменение геометрических размеров (в том числе за счет радиационного распухания и терморадиационной ползучести) должно быть обосновано, что для всех элементов конструкции ВКУ к концу срока их службы не будет достигнуто предельное состояние, указанное в подпункте «е» пункта 13 настоящих Основных требований.

58. В расчете на недопустимое изменение геометрических размеров элементов конструкции ВКУ должны учитываться все механизмы деформирования материалов ВКУ, вызывающие появления необратимых изменений геометрических размеров, включая пластическое деформирование, радиационное распухание и радиационную ползучесть.

59. В режимах НЭ, ННЭ и ПА изменения геометрических размеров элементов ВКУ, а также зазоры между ВКУ и элементами активной зоны должны находиться в пределах, установленных проектом. Изменения геометрических размеров элементов ВКУ не должны препятствовать нормальному функционированию рабочих органов системы защиты реактора.

60. При ПА, обусловленной разрывом главного циркуляционного трубопровода, к конструкции ВКУ реактора предъявляются только требования по ограничению перемещений, препятствующих нормальному функционированию рабочих органов системы защиты реактора, охлаждению и последующей разборке активной зоны.

61. Расчет на недопустимое изменение геометрических размеров элементов конструкций ВКУ должен выполняться с использованием программных средств, предназначенных для расчетов деформирования

конструкций в условиях пластического деформирования, радиационного распухания и терморадиационной ползучести.

XV. Расчет на предельную величину пластической деформации

62. Расчет на предельную величину пластической деформации элементов конструкций ВКУ должен обосновывать предотвращение реализации в процессе эксплуатации РУ предельного состояния, указанного в подпункте «д» пункта 13 настоящих Основных требований, для всех элементов конструкций ВКУ во всех предусмотренных проектом РУ режимах эксплуатации ВКУ, включая динамические воздействия.

63. Расчет на предельную величину пластической деформации элементов конструкций ВКУ должен выполняться с использованием компьютерных программ, верифицированных для расчетов конструкций в условиях пластического деформирования.

XVI. Расчет на внешние динамические воздействия

64. Расчетом на внешние ДВ должно быть обосновано, что для всех элементов ВКУ при динамических нагрузках, передаваемых на ВКУ через корпус реактора, во всех предусмотренных проектом РУ режимах эксплуатации ВКУ не будут достигнуты предельные состояния, указанные в пункте 13 настоящих Основных требований.

65. Значения динамических нагрузок на элементы ВКУ должны определяться из расчета РУ на ДВ, выполненного согласно требованиям федеральных норм и правил в области использования атомной энергии с учетом одновременного воздействия в двух горизонтальных и вертикальном направлениях на основе данных разработчика проекта АС.

66. Расчет ВКУ на внешние ДВ должен выполняться методом динамического анализа (по акселерограммам) или линейно-спектральным методом (по спектрам ответа) с использованием программных средств. При применении линейно-спектрального метода расчета должно быть показано,

что при деформировании конструкций ВКУ отсутствуют физическая и геометрическая нелинейность.

67. Статический метод расчета ВКУ на сейсмические воздействия допускается применять только в случаях, когда низшая частота собственных колебаний элементов конструкции ВКУ больше 20 Гц, при этом если эта частота лежит в диапазоне 20 – 33 Гц, то должен быть задан коэффициент перегрузки по действующим нагрузкам, равный 1,3.

68. Значение относительного демпфирования k_D должно определяться на основе экспериментальных исследований, при отсутствии исследований значение k_D следует принимать равным 0,02.

69. При внешних ДВ сочетания расчетных нагрузок и величины допускаемых напряжений для элементов конструкции ВКУ должны задаваться в соответствии с приложением № 5 к настоящим Основным требованиям.

XVII. Расчет на вибропрочность

70. Расчет ВКУ на вибропрочность должен проводиться по результатам анализа вибраций, зарегистрированных в процессе пусконаладочных работ на реакторах типа ВВЭР, с использованием результатов измерений вибрационных характеристик, полученных на экспериментальных стендах.

71. Расчетом ВКУ на вибропрочность должно быть обосновано, что во всех предусмотренных проектом РУ режимах эксплуатации ВКУ под воздействием вибрационных нагрузок, обусловленных потоком теплоносителя и (или) колебаниями его давления, не возникнут резонансные колебания с недопустимыми амплитудами перемещений элементов конструкции ВКУ. Характеристики собственных колебаний элементов конструкции ВКУ (частоты и декременты колебаний) должны быть такими, чтобы при всех возмущающих воздействиях вибрационные напряжения ВКУ не превышали значений, установленных в проекте РУ без учета вибраций, более, чем на 15 %.

72. Расчет ВКУ на вибропрочность должен содержать:

а) определение собственных частот и форм колебаний элементов ВКУ (расчет собственных частот колебаний элементов конструкций выполняется с помощью программных средств);

б) проверку на отсутствие виброударных взаимодействий элементов ВКУ друг с другом или с элементами активной зоны с целью исключения повышенного износа;

в) расчет на зарождение усталостной трещины с учетом вибронапряжений в соответствии с разделом IX настоящих Основных требований.

73. В расчетах ВКУ на вибропрочность должны использоваться базы данных результатов измерений вибрационных характеристик, полученных на экспериментальных стендах и при измерениях на реакторах типа ВВЭР при пусконаладочных работах.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1
к федеральным нормам и правилам
в области использования атомной энергии
«Основные требования к обоснованию
прочности внутрикорпусных устройств
реакторов типа ВВЭР», утвержденным
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от «05» октября 2017 г. № 409

Список сокращений

АС – атомная электростанция

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор

ВКУ – внутрикорпусные устройства реактора

ДВ – динамические воздействия

ЗПО – зона предельного охрупчивания

ННЭ – нарушение нормальной эксплуатации ВКУ

НЭ – нормальная эксплуатация ВКУ

ООБ – отчет по обоснованию безопасности

ПА – проектная авария

РУ – реакторная установка

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2
к федеральным нормам и правилам
в области использования атомной энергии
«Основные требования к обоснованию
прочности внутрикорпусных устройств
реакторов типа ВВЭР», утвержденным
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от «05» октября 2017 г. № 409

Термины и определения

В настоящих Основных требованиях используются следующие термины и определения.

1. **Внутрикорпусные устройства** – шахта внутрикорпусная, блок защитных труб, выгородка, корзина[2], днище шахты[2], узлы крепления внутрикорпусных устройств, за исключением прижимных устройств.

2. **Локальная потеря устойчивости** – местное выпучивание области отдельных элементов ВКУ под действием сжимающих и (или) касательных напряжений.

3. **Нарушение нормальной эксплуатации внутрикорпусных устройств** – ННЭ АС, влияющее на состояние ВКУ, требующее аварийной остановки реактора и не перешедшее в аварию.

4. **Нестабильное развитие трещины** – не требующее увеличения нагрузки развитие трещины в металле.

5. **Номинальное допускаемое напряжение** – условная величина, равная предельно допустимому напряжению при одноосном напряженном состоянии, которая определяется по пределам прочности, текучести при расчетной температуре.

6. **Нормальная эксплуатация внутрикорпусных устройств** –

[2] Для РУ типа ВВЭР-440.

эксплуатация ВКУ во всех режимах, не требующих аварийной остановки реактора.

7. **Общая потеря устойчивости** – потеря устойчивости элемента ВКУ под воздействием продольных сжимающих нагрузок и (или) крутящего момента с изгибом или кручением всего элемента ВКУ.

8. **Общие изгибные напряжения** – напряжения, вызываемые действием механических нагрузок, изменяющиеся от максимального положительного значения до минимального отрицательного по всему сечению.

9. **Общие мембранные напряжения** – напряжения, вызываемые действием механических нагрузок, равномерно распределенных по рассматриваемому сечению, и равные среднему значению напряжений от указанных нагрузок в данном сечении.

10. **Общие температурные напряжения** – напряжения, возникающие от неравномерного распределения температур по объему рассчитываемого элемента или из-за различия коэффициентов линейного расширения материалов.

11. **Постулированная трещина** – специально введенный в расчетную схему дефект в виде трещины (сквозной, эллиптической, полуэллиптической или четвертьэллиптической формы) с целью расчета на нестабильное развитие трещины или расчета кинетики ее роста и определения ее размеров в конце проектного срока эксплуатации.

12. **Предельное охрупчивание материала** – достижение в облучаемой зоне элемента ВКУ состояния металла, при котором вследствие воздействия облучения возможно его квазихрупкое разрушение при отсутствии пластических деформаций.

13. **Предельное состояние** – состояние элемента конструкции ВКУ, превышение которого при эксплуатации приведет к нарушению целостности, появлению перемещений, превышающих проектные значения, или к старту

механизмов разрушения металла.

14. **Приведенное напряжение** – используемое при оценках прочности эквивалентное значение напряжения, приведенное к условиям одноосного напряженного состояния.

15. **Проектная авария** – влияющая на состояние ВКУ авария, для которой в проекте АС определены исходные события и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие при независимом от исходного события отказе одного из элементов систем безопасности, учитываемом в проекте АС, или при одной независимой от исходного события ошибке персонала ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами.

16. **Радиационная ползучесть** – происходящий с течением времени процесс накопления необратимой деформации металла ВКУ при совместном воздействии облучения и нагрузки.

17. **Радиационное распухание** – увеличение объема материала в результате нейтронного облучения.

18. **Расчетная температура** – максимальное среднее интегральное значение температуры по толщине стенки (сечения) элемента конструкции ВКУ в рассматриваемом режиме нагружения.

19. **Элемент конструкции внутрикорпусных устройств** – часть ВКУ, для расчета которой на прочность используется отдельная расчетная модель.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 3
к федеральным нормам и правилам
в области использования атомной энергии
«Основные требования к обоснованию
прочности внутрикорпусных устройств
реакторов типа ВВЭР», утвержденным
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от «05» октября 2017 г. № 409

Условные обозначения

$(\sigma)_1$,
$(\sigma)_2$, – группы приведенных напряжений, МПа;
$(\sigma)_{4w}$

σ_m – общие мембранные напряжения, МПа;

σ_{mL} – местные мембранные напряжения, МПа;

σ_{mw} – средние напряжения растяжения в поперечном сечении крепежного изделия, МПа;

σ_b – общие изгибные напряжения, МПа;

$(\sigma)_s$ – напряжения смятия, МПа;

$(\tau)_s$ – напряжения среза, МПа;

$[\sigma]$ – номинальное допускаемое напряжение, МПа;

$[\sigma]_w$ – номинальное допускаемое напряжение для крепежного изделия, МПа;

$R_{p0,2}{}^{T}$ – минимальное значение предела текучести при расчетной температуре, МПа;

$R_m{}^{T}$ – минимальное значение предела прочности при расчетной температуре, МПа;

$n_{0,2}$ – коэффициент запаса по пределу текучести;

n_m – коэффициент запаса по пределу прочности;

k_D – относительное демпфирование.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 4
к федеральным нормам и правилам
в области использования атомной энергии
«Основные требования к обоснованию
прочности внутрикорпусных устройств
реакторов типа ВВЭР», утвержденным
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от «05» октября 2017 г. № 409

Классификация напряжений в элементах внутрикорпусных устройств

1. Классификация напряжений при проведении расчета элементов ВКУ на статическую прочность и ДВ выполняется по следующим категориям напряжений:

общие мембранные напряжения;

местные мембранные напряжения;

общие изгибные напряжения;

местные изгибные напряжения;

общие температурные напряжения;

местные температурные напряжения;

местные напряжения смятия;

местные напряжения среза.

2. Различные категории напряжений объединяют в группы (группы категорий напряжений) в зависимости от вида, характера нагрузок и целей расчета.

3. При проведении расчета определяют приведенные напряжения каждой группы, которые сопоставляют с соответствующими допускаемыми напряжениями.

4. На основании анализа напряжений от механических нагрузок и температурных воздействий для оценок прочности следует выбирать области

элементов ВКУ с наибольшими напряжениями, а также области с наибольшими дозами облучения и радиационным распуханием.

5. Используемые при расчетах на статическую прочность и ДВ расчетные группы категорий напряжений $(\sigma)_1$ и $(\sigma)_2$ представлены в таблице № 1 настоящего приложения.

Таблица № 1

Расчетные группы категорий напряжений

Название группы	**Обозначение группы категорий напряжений**	**Категории напряжений, входящие в группу**
Приведенные общие мембранные напряжения	$(\sigma)_1$	$(\sigma)_m$
Приведенные напряжения, определяемые по суммам общих или местных мембранных и общих изгибных напряжений	$(\sigma)_2$	$[\sigma_m$ или $\sigma_{mL}] + \sigma_b$

6. Примеры объединения категорий напряжений в группы $(\sigma)_1$ и $(\sigma)_2$ в различных элементах ВКУ приведены в таблице № 2 настоящего приложения.

Таблица № 2

Примеры объединения категорий напряжений $(\sigma)_1$ и $(\sigma)_2$ в группы в элементах внутрикорпусных устройств

Рассчитываемая зона	Нагрузки, определяющие группу	Категории напряжений, входящие в группу	Обозначение группы категорий напряжений
Протяженные по высоте элементы	Осевая сила + весовая нагрузка + перепад давлений + архимедова сила+ усилия со стороны соседних элементов активной зоны	Общие мембранные	$(\sigma)_1$
		Общие мембранные + общие изгибные	$(\sigma)_2$
Зона соединения протяженных по высоте участков с плитами	Осевая сила + весовая нагрузка + перепад давлений + архимедова сила + усилия со стороны соседних элементов активной зоны+ усилия со стороны плоских элементов	Местные мембранные	$(\sigma)_2$
Центральная часть плит	Осевая сила + весовая нагрузка + перепад давлений + архимедова сила + усилия со стороны протяженных элементов активной зоны (механические)	Общие изгибные	$(\sigma)_2$
Зона соединения протяженных по высоте участков с эллиптическим и (или) с торо-сферическими днищами	Осевая сила + весовая нагрузка + перепад давлений + архимедова сила + усилия со стороны соседних элементов активной зоны + усилия со стороны днища	Местные мембранные + местные изгибные	$(\sigma)_2$

ПРИЛОЖЕНИЕ № 5
к федеральным нормам и правилам
в области использования атомной энергии
«Основные требования к обоснованию
прочности внутрикорпусных устройств
реакторов типа ВВЭР», утвержденным
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от «05» октября 2017 г. № 409

Таблица № 1

Сочетания расчетных нагрузок и величины допускаемых напряжений для элементов конструкции ВКУ при внешних ДВ

Вид деформирования	Сочетание нагрузок	Расчетная группа категорий напряжений	Допускаемое напряжение
Растяжение/сжатие	НЭ +ДВ, ННЭ +ДВ	$(\sigma)_1$	1,4 [σ]
Изгиб	НЭ +ДВ, ННЭ +ДВ	$(\sigma)_2$	1,8 [σ]
Смятие	НЭ +ДВ, ННЭ +ДВ	$(\sigma)_s$	2,7 [σ]
Срез	НЭ +ДВ, ННЭ +ДВ	$(\tau)_s$	0,7 [σ]

Таблица № 2

Сочетания нагрузок и допускаемые напряжения для крепежных изделий ВКУ при внешних ДВ

Сочетание нагрузок	Расчетная группа категорий напряжений	Допускаемое напряжение
НЭ + ДВ	$(\sigma_s)_{mw}$	$1,4\ [\sigma]_w$
ННЭ + ДВ	$(\sigma_s)_{4w}$	$2,2\ [\sigma]_w$

gost.e-ecolog.ru