

**ПРОЕКТЫ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ**

Федеральная служба по экологическому,
технологическому и атомному надзору

**ФЕДЕРАЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА
В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ**

УТВЕРЖДЕНЫ
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от «__» _____ 20__ г.
№ _____

**ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБОСНОВАНИЮ ПРОЧНОСТИ
ВНУТРИКОРПУСНЫХ УСТРОЙСТВ РЕАКТОРОВ ВВЭР
НП-XXX-XX**

Введены в действие
с «__» _____ 20__ г.

Москва 2016

I. Назначение и область применения

1. Настоящие федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Основные требования к обоснованию прочности внутрикорпусных устройств реакторов ВВЭР» (НП-XXX-XX) (далее – Основные требования) разработаны 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), 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; 1999, № 27, ст. 3380; 2000, № 28, ст. 2981; 2002, № 4, ст. 325; № 44, ст. 4392; 2003, № 40, ст. 3899; 2005, № 23, ст. 2278; 2006, № 50, ст. 5346; 2007, № 14, ст. 1692; № 46, ст. 5583; 2008, № 15, ст. 1549; 2012, № 51, ст. 7203).

2. Настоящие Основные требования должны применяться при обосновании прочности внутрикорпусных устройств реактора проектируемых, сооружаемых и действующих атомных станций с реакторными установками типа ВВЭР во всех проектных режимах.

3. Подготовленные в соответствии с настоящими Основными требованиями обоснования прочности внутрикорпусных устройств реактора не распространяются на следующие случаи:

аварии с потерей теплоносителя¹;

запроектные аварии;

внештатные ситуации при транспортно-технологических операциях.

4. Используемые сокращения, термины и определения приведены в приложениях № 1 и 2 к настоящим Основным требованиям, соответственно, используемые условные обозначения приведены в приложении № 3.

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.

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

III. Требования к физико-механическим характеристикам конструкционных материалов ВКУ

8. Используемые для изготовления ВКУ конструкционные материалы должны обладать радиационной и коррозионной стойкостью в теплоносителе первого контура реакторов ВВЭР и иметь физико-механические характеристики, обеспечивающие назначенный срок службы ВКУ.

¹ В авариях с потерей теплоносителя к конструкциям внутрикорпусных устройств реактора предъявляются только требования по ограничению перемещений, препятствующих нормальному функционированию рабочих органов системы защиты реактора и разборке активной зоны.

9. Физико-механические характеристики материалов ВКУ должны быть определены в температурном диапазоне, охватывающем все проектные режимы эксплуатации, 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 подраста трещин при эксплуатации) и теплофизические (теплопроводность, теплоемкость, коэффициент линейного температурного расширения) характеристики материалов должны быть определены специализированной материаловедческой организацией, признанной органом управления использованием атомной энергии компетентной оказывать услуги организациям в сфере ее специализации по определению физико-механических характеристик материалов ВКУ (далее – специализированная материаловедческая организация). Численные 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 12.07.2016 № 669 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2016, № 29, ст. 4839).

11. Организация-конструктор ВКУ должна обеспечить хранение обосновывающих документов, положенных в основу содержащего физико-механические характеристики материалов ВКУ стандарта, до окончания срока службы ВКУ.

12. Характеристики трещиностойкости и зависимости, определяющие зарождение и скорость подраста 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 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 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 исследований с учетом влияния дозы и температуры облучения, радиационного распухания, напряженного состояния и результатов испытаний материалов ВКУ в исследовательских реакторах.

IV. Критерии прочности ВКУ

13. В качестве критериев прочности ВКУ должны использоваться следующие предельные состояния:

- а) охват пластической деформацией всей площади любого сечения элемента ВКУ;
- б) зарождение трещины (только для расчетов на стадии проектирования);
- 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. Численные значения критериев прочности для предельного состояния, указанного в подпунктах «б», «в» и «д» пункта 13 настоящих Основных требований, должны быть определены специализированной материаловедческой организацией, а предельного состояния, указанного в подпункте «е» пункта 13, организацией, спроектировавшей ВКУ. Указанные численные 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 численные значения указанных критериев прочности должны быть обоснованы или должно быть подтверждено сохранение их прежних значений.

V. Коэффициенты запаса для критериев прочности ВКУ

15. В обоснованиях прочности ВКУ должны быть предусмотрены коэффициенты запаса для всех перечисленных в пункте 13 настоящих Основных требований предельных состояний. Численные значения коэффициентов запаса должны обеспечивать гарантированное недостижение предельных состояний при эксплуатации и должны быть обоснованы экспериментально и/или подтверждены опытом эксплуатации реакторов ВВЭР (за исключением коэффициентов запаса, устанавливаемых настоящими Основными требованиями).

16. При обосновании численных 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 ВКУ

17. Обоснование недостижения всеми элементами ВКУ в процессе эксплуатации перечисленных в пункте 13 настоящих Основных требований предельных состояний должно быть выполнено расчетным путем.

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 в процессе эксплуатации;
- в) распределение потока нейтронов и температуры по высоте и по толщине элементов ВКУ, а также в азимутальном направлении;
- г) изменение геометрических размеров и формы ВКУ в процессе эксплуатации;
- д) механические нагрузки от веса активной зоны, собственного веса ВКУ и усилий поджатия прижимных устройств топливных сборок;
- е) гидравлические нагрузки;
- ж) перепад давления теплоносителя;
- з) архимедовы (выталкивающие) силы;
- и) динамические нагрузки от падения органов системы 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).

19. Прочность элементов ВКУ должна обосновываться следующими расчетами на:

- а) статическую прочность;
- б) устойчивость (общую и/или локальную);

- в) зарождение усталостной трещины;
- г) зарождение коррозионной трещины;
- д) формирование зоны предельного охрупчивания материала;
- е) стабильное развитие трещины;
- ж) нестабильное развитие трещины (квазихрупкое разрушение);
- з) недопустимое формоизменение;
- и) предельную величину пластической деформации;
- к) вибропрочность;
- л) внешние динамические воздействия.

20. Напряженно-деформированное состояние ВКУ должно определяться согласно установленной в проекте 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 для всех эксплуатационных режимов необходимо учитывать все действующие на ВКУ механические и гидравлические нагрузки. Классификация напряжений в элементах ВКУ (отнесение к различным категориям) 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 $[\sigma]$ 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 зависимости:

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

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 по данным документа по стандартизации в области использования атомной энергии, включенного в сводный перечень документов по стандартизации.

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

$$\begin{aligned} [\sigma] & - \text{при условиях НЭ;} \\ 1,2 [\sigma] & - \text{при условиях ННЭ;} \\ 1,4 [\sigma] & - \text{при условиях ПА.} \end{aligned}$$

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 условиях НЭ;
- 1,6 $[\sigma]$ – при условиях ННЭ;
- 1,8 $[\sigma]$ – при условиях 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 условиях НЭ;
- 1,6 $[\sigma]_w$ – при условиях ННЭ;
- 1,8 $[\sigma]_w$ – при условиях 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 условиях НЭ;
- 2,0 $[\sigma]_w$ – при условиях ННЭ;
- 2,4 $[\sigma]_w$ – при условиях ПА.

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

При совместном воздействии механических и термических нагрузок средние напряжения среза (τ)_s не должны превышать 0,65 $[\sigma]$ (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 проектных режимов эксплуатации РУ.

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 вызовет общую потерю устойчивости ВКУ или локальную потерю устойчивости элементов конструкции ВКУ как при статических, так и при динамических нагрузках (критические нагрузки). 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. Численные 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 режимах НЭ и ННЭ.

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

38. Расчет на зарождение усталостной трещины в элементах ВКУ должен выполняться в соответствии с документом по стандартизации в области использования атомной энергии, включенным в сводный перечень документов по стандартизации.

Х. 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 режимах НЭ и ННЭ.

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

41. Расчет на коррозионное растрескивание в элементах ВКУ должен выполняться в соответствии с документом по стандартизации в области использования атомной энергии, включенным в сводный перечень документов по стандартизации.

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 режимах НЭ и ННЭ.

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

44. С момента формирования в элементе конструкции ВКУ зоны предельного охрупчивания в этом элементе должен постулироваться расчетный дефект, размеры которого определяются размерами ЗПО.

45. Расчет на формирование ЗПО и определение размеров постулированного дефекта должны выполняться в соответствии с документом по стандартизации в области использования атомной энергии, включенным в сводный перечень документов по стандартизации.

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 или/и 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 документом по стандартизации в области использования атомной энергии, включенным в сводный перечень документов по стандартизации.

XIII. Расчет на нестабильное развитие трещины

54. Расчет на нестабильное развитие трещины должно быть обосновано, что в процессе эксплуатации реактора вплоть до конца его проектного 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 XI настоящих Основных требований).

56. Расчет на нестабильное развитие трещины должен выполняться в соответствии с документом по стандартизации в области использования атомной энергии, включенным в сводный перечень документов по стандартизации.

XIV. Расчет на недопустимое изменение геометрических размеров

57. Расчет на недопустимое изменение геометрических размеров (в том числе за счет радиационного набухания и терморadiационной 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 набухание и радиационную ползучесть.

59. В режимах НЭ, ННЭ и ПА изменения геометрических размеров элементов ВКУ, а также зазоры между ВКУ и другими элементами активной зоны должны находиться в пределах, установленных проектом.

60. Расчет на недопустимое изменение геометрических размеров элементов конструкций ВКУ должен выполняться с использованием компьютерных программ, предназначенных для расчетов деформирования конструкций в условиях пластического деформирования, радиационного набухания и терморadiационной ползучести.

XV. Расчет на предельную величину пластической деформации

61. Расчет на предельную величину пластической деформации элементов конструкций ВКУ должен обосновывать предотвращение реализации к концу срока их службы предельного состояния, указанного в подпункте «д» пункта 13 настоящих Основных требований, для всех элементов конструкций ВКУ во всех проектных режимах эксплуатации ВКУ, включая динамические воздействия.

62. Расчет на предельную величину пластической деформации элементов конструкций ВКУ должен выполняться с использованием компьютерных программ, верифицированных для расчетов деформирования конструкций в условиях пластического деформирования, радиационного набухания и терморadiационной ползучести.

XVI. Расчет на внешние динамические воздействия

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

64. При расчете ВКУ на внешние ДВ значения динамических нагрузок на элементы ВКУ должны задаваться акселерограммами для трех взаимно перпендикулярных направлений с учетом одновременного воздействия в двух горизонтальных и вертикальном направлениях или спектрами реакций, соответствующих заданным акселерограммам, которые должны быть определены проектантом АС согласно требованиям федеральных норм и правил в области использования атомной энергии.

65. 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.

66. Применение статического метода расчета ВКУ на сейсмические воздействия допускается 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.

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

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

XVII. Расчет на вибропрочность

69. Расчет ВКУ на вибропрочность должен проводиться в случаях, когда расчетно-экспериментальное обоснование вибропрочности ВКУ, выполненное с учетом результатов анализа вибраций, зарегистрированных в процессе пусконаладочных работ и при эксплуатации прототипов, отсутствует или является недостаточным.

70. Расчетом ВКУ на вибропрочность должно быть обосновано, что во всех проектных режимах эксплуатации РУ 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 проектных значений, установленных без учета вибраций, более, чем на 15 %.

71. 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 вибронпряжений в соответствии с разделом IX настоящих Основных требований.

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

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1
к федеральным нормам и правилам
в области использования атомной энергии
«Основные требования к обоснованию прочности
и ресурса внутрикорпусных устройств
реакторов ВВЭР», утвержденным приказом
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «__» _____ 20__ г. № _____

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
НЭ	– нормальная эксплуатация
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
и ресурса внутрикорпусных устройств
реакторов ВВЭР», утвержденным приказом
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «__» _____ 20__ г. № _____

Термины и определения

В настоящих Основных требованиях используются следующие термины и определения.

1. Авария с полным или частичным осушением активной зоны – резкое ухудшение условий охлаждения ТВЭЛов вследствие разуплотнения контура циркуляции теплоносителя первого контура реактора.

2. Внутрикорпусные устройства – шахта внутрикорпусная, блок защитных труб, выгородка, корзина (для ВВЭР-440), узлы крепления внутрикорпусных устройств, за исключением прижимных устройств.

3. Специализированная материаловедческая организация – материаловедческая организация, признанная эксплуатирующей организацией компетентной оказывать услуги организациям в сфере ее специализации по выбору и обоснованию применения основных и сварочных материалов при конструировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации ВКУ.

4. Локальная потеря устойчивости – местное выпучивание области отдельных элементов ВКУ под действием сжимающих и/или касательных напряжений.

5. Нестабильное развитие трещины – не требующее увеличения нагрузки развитие трещины в металле.

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

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

16. Радиационное распухание – увеличение объема материала в результате нейтронного облучения.

17. Элемент конструкции ВКУ – 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
и ресурса внутрикорпусных устройств
реакторов ВВЭР», утвержденным приказом
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «__» _____ 20__ г. № _____

Условные обозначения

$(\sigma)_{1,2}$	– группы приведенных напряжений, МПа;
$(\sigma)_{4w}$	– общие мембранные напряжения, МПа;
σ_m	– местные мембранные напряжения, МПа;
σ_{mL}	– средние напряжения растяжения в поперечном сечении крепежного изделия, МПа;
σ_{mw}	– общие изгибные напряжения, МПа;
σ_b	– напряжения смятия, МПа;
$(\sigma)_s$	– напряжения среза, МПа;
$(\tau)_s$	– номинальное допускаемое напряжение, МПа;
$[\sigma]$	– номинальное допускаемое напряжение для крепежного изделия, МПа;
$[\sigma]_w$	– минимальное значение предела текучести при расчетной температуре, МПа;
$R_{p0,2}^T$	– минимальное значение предела прочности при расчетной температуре, МПа;
R_m^T	– коэффициент запаса по пределу текучести;
$n_{0,2}$	– коэффициент запаса по пределу прочности;
n_m	– относительное демпфирование.
k_D	

ПРИЛОЖЕНИЕ № 4
к федеральным нормам и правилам
в области использования атомной энергии
«Основные требования к обоснованию прочности
и ресурса внутрикорпусных устройств
реакторов ВВЭР», утвержденным приказом
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «__» _____ 20__ г. № _____

Классификация напряжений в элементах ВКУ

1. При проведении расчета элементов ВКУ на статическую прочность и ДВ используются следующие категории 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.

Из указанных категорий формируются расчетные группы категорий напряжений, которые используются для оценки прочности.

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 наиболее напряженные области элементов ВКУ, а также области с изменением физико-механических свойств и области интенсивного облучения и коррозионного воздействия, причем для различных расчетных случаев эти области могут быть различными.

5. Используемые при расчетах на статическую прочность приведенные напряжения групп категорий напряжений $(\sigma)_1$ и $(\sigma)_2$ представлены в таблице № 1 настоящего Приложения.

6. Наиболее типичные примеры объединения категорий напряжений в группы $(\sigma)_1$ и $(\sigma)_2$ в различных зонах конструкций приведены в таблице № 2 настоящего Приложения.

Таблица № 1

Примеры объединения категорий напряжений в группы

Название группы	Обозначение приведенных напряжений группы	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	$(\sigma)_2$	$[(\sigma)_m \text{ или } (\sigma)_{mL}] + (\sigma)_b$

Таблица № 2

Нагрузки на элементы ВКУ, определяющие расчетные группы категорий напряжений (σ_1 и σ_2)

Рассчитываемая зона	Нагрузки, определяющие группу	Категории напряжений, входящие в группу	Обозначение приведенных напряжений группы
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 или с торосферическими 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
и ресурса внутрикорпусных устройств
реакторов ВВЭР», утвержденным приказом
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «__» _____ 20__ г. № _____

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 $[\sigma]$
Изгиб	НЭ +ДВ, ННЭ +ДВ	$(\sigma)_2$	1,8 $[\sigma]$
Смятие	НЭ +ДВ, ННЭ +ДВ	$(\sigma)_s$	2,7 $[\sigma]$
Срез	НЭ +ДВ, ННЭ +ДВ	$(\tau)_s$	0,7 $[\sigma]$

Таблица № 2

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

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

