МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЗАРЕГИСТРИРОВАНО
Регистрационный № 41891
от "21" апреля 2016.

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

ПРИКАЗ

18 января 2016г № 13

Москва

Об утверждении федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Основные требования к обоснованию прочности и термомеханического поведения тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов в активной зоне водо-водяных энергетических реакторов»

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), 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), приказываю:

Утвердить прилагаемые федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Основные требования к обоснованию прочности и термомеханического поведения тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов в активной зоне водо-водяных энергетических реакторов» (НП-094-15).

Руководитель А.В. Алёшин

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДЕНЫ
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от «18» октября 2016 г. № 13

Федеральные нормы и правила
в области использования атомной энергии
«Основные требования к обоснованию прочности и термомеханического поведения тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов в активной зоне водо-водяных энергетических реакторов»

(НП–094–15)

I. Назначение и область применения

1. Настоящие федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Основные требования к обоснованию прочности и термомеханического поведения тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов в активной зоне водо-водяных энергетических реакторов» (НП–094–15) (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), 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 устанавливают правила обоснования прочности и работоспособности тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов проектируемых, сооружаемых и действующих атомных станций с водо-водяными энергетическими реакторами в режимах нормальной эксплуатации, нарушения нормальной эксплуатации и проектной аварии и распространяются на обоснования прочности и работоспособности тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов, подготовленные организациями, оказывающими услуги эксплуатирующей организации.

3. Подготовленные в соответствии с настоящими Основными требованиями обоснования прочности и работоспособности тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов не распространяются на следующие случаи:

при наличии в теплоносителе первого контура реакторной установки посторонних предметов;

при нарушениях норм ведения водно-химического режима теплоносителя первого контура реакторной установки;

при реактивностных авариях, авариях с потерей теплоносителя и иных авариях с нарушениями теплоотвода от тепловыделяющих элементов, а также при авариях с падением тепловыделяющих сборок при транспортно-технологических операциях.

4. Действие настоящих Основных требований не распространяется на обоснования прочности пружин тепловыделяющих сборок, а также расположенных внутри тепловыделяющих элементов пружин и фиксирующих шайб, разрушение которых не может привести к выходу радиоактивных веществ из тепловыделяющих элементов.

5. Список сокращений, а также термины и определения приведены в приложениях № 1 и № 2 к настоящим Основным требованиям соответственно, используемые условные обозначения приведены в приложении № 3 к настоящим Основным требованиям.

II. Основные положения

6. Прочность и работоспособность твэлов и ТВС должны быть обоснованы в проекте РУ, а результаты обоснования должны представляться в отчетах по обоснованию безопасности АС. При внесении изменений в конструкции твэлов и ТВС, применении новых конструкционных материалов, изменениях химического состава топлива, изменениях технологии изготовления элементов ТВС, топлива или оболочек твэлов (если эти изменения могут повлиять на их прочностные характеристики), изменениях норм ведения водно-химического режима теплоносителя первого контура РУ, изменениях проектных условий эксплуатации, прочность и работоспособность твэлов и ТВС должны быть обоснованы с учетом вносимых изменений.

7. Обоснование прочности и работоспособности твэлов и ТВС должно основываться на результатах расчетов и (или) экспериментов, которые должны показать, что предельные состояния твэлов и ТВС не будут достигнуты в течение всего проектного срока их службы во всех предусмотренных проектом РУ режимах НЭ, ННЭ и ПА.

8. Значения коэффициентов запаса прочности для предельных состояний твэлов и ТВС должны устанавливаться таким образом, чтобы в течение проектного срока службы твэлов и ТВС были обеспечены их прочность и работоспособность с учетом эксплуатационных нагрузок в режимах НЭ, ННЭ и ПА.

9. Методы, применяемые для расчета напряженно-деформированного состояния твэлов и ТВС и прогнозирования их термомеханического поведения в процессе эксплуатации, должны учитывать все действующие на твэлы и ТВС нагрузки в режимах НЭ, ННЭ и ПА и определять численные значения параметров, характеризующих достижение или недостижение предельных состояний при эксплуатации.

10. Обоснования прочности и работоспособности твэлов и ТВС, выполненные до вступления в силу приказа об утверждении настоящих Основных требований, переработке не подлежат.

III. Требования к физико-механическим характеристикам конструкционных материалов тепловыделяющих элементов и тепловыделяющих сборок

11. Конструкционные материалы, используемые для изготовления твэлов и ТВС, должны обладать радиационной и химической стойкостью в теплоносителе реакторов типа ВВЭР в течение всего срока службы твэлов и ТВС.

12. Физико-механические характеристики материалов твэлов и ТВС должны быть определены в охватывающем все проектные режимы НЭ, ННЭ и ПА температурном диапазоне с учетом анизотропии свойств материалов (при ее наличии) и влияния облучения. Диапазон доз облучения, при которых определяются физико-механические характеристики материалов, должен быть достаточным для обоснования прочности и работоспособности твэлов и ТВС в течение срока службы ТВС до проектных значений выгорания топлива.

13. Определение физико-механических характеристик материалов, необходимых для выполнения обоснования прочности и работоспособности твэлов и ТВС (модуля упругости первого и второго рода, предела прочности, предела текучести, коэффициента Пуассона, относительного удлинения, относительного сужения, предела длительной прочности, диаграммы деформирования материалов ТВС при различных скоростях деформирования, кривых длительной прочности, скорости терморадиационной ползучести, коэффициентов анизотропии пластичности и ползучести, характеристики трещиностойкости, кривых усталости, изохронных кривых ползучести, констант, определяющих скорость подроста трещин при эксплуатации) обеспечивается специализированной материаловедческой организацией. Численные значения указанных физико-

механических характеристик отражаются в документах по стандартизации, предназначенных для формирования, ведения и актуализации сводного перечня документов по стандартизации (далее – документы по стандартизации), предусмотренного пунктом 9 Положения об особенностях стандартизации продукции (работ, услуг), для которой устанавливаются требования, связанные с обеспечением безопасности в области использования атомной энергии, а также процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации и захоронения указанной продукции, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 1 марта 2013 г. № 173 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2013, № 10, ст. 1026).

14. Специализированная материаловедческая организация должна обеспечить хранение обосновывающих документов, положенных в основу содержащих физико-механические характеристики материалов твэлов и ТВС документов по стандартизации.

15. Кривые усталости, характеристики трещиностойкости и константы, определяющие скорость подроста трещин при эксплуатации, должны быть определены с учетом влияния облучения и химического состава теплоносителя. Для материала оболочек твэлов указанные параметры должны также учитывать влияние химического состава газов под оболочкой твэла.

IV. Критерии прочности и работоспособности тепловыделяющих элементов

16. В качестве критериев прочности и работоспособности твэлов должны использоваться численные характеристики следующих предельных состояний:

а) пороговое значение первого главного напряжения в оболочке твэла, непревышение которого исключает нестабильный рост постулируемой исходной трещины, размеры которой устанавливаются разработчиком конструкции твэла;

б) потеря устойчивости оболочки твэла (как мгновенная, так и длительная при прогрессировании исходной овальности за счет ползучести) под воздействием давления теплоносителя;

в) предельное значение повреждения металла оболочки твэла за счет циклически повторяющихся нагрузок;

г) предельное значение повреждения металла оболочки твэла за счет терморадиационной ползучести;

д) предельная величина общих изгибных напряжений (или изгибных деформаций) в оболочках твэлов при сейсмических или иных динамических воздействиях;

е) предельное значение интенсивности пластической деформации оболочки твэла;

ж) предельное значение изменения диаметра оболочки твэла;

з) предельное значение удлинения твэла;

и) температура плавления топлива (для определенных проектом твэла химического состава, выгорания и технологии изготовления);

к) предельное значение давления газов под оболочкой твэла;

л) предельная толщина окисной пленки на наружной поверхности оболочки твэла;

м) предельное содержание водорода в оболочке твэла, при превышении которого происходит недопустимое охрупчивание металла оболочки.

17. Численные значения критериев прочности и работоспособности твэлов по указанным в пункте 16 настоящих Основных требований предельным состояниям должны быть определены и обоснованы разработчиками проектов твэла и ТВС на основе экспериментов и (или) расчетов. Указанные значения должны обосновываться в проекте РУ и приводиться в ООБ АС.

V. Критерии прочности и работоспособности тепловыделяющих сборок

18. В качестве критериев прочности и работоспособности ТВС должны использоваться следующие предельные состояния:

а) охват пластическими деформациями (потеря несущей способности) всего сечения наиболее нагруженного элемента конструкции ТВС в отсутствии дефектов;

б) нестабильное развитие трещины (хрупкое разрушение);

в) потеря устойчивости ТВС в целом или ее элемента;

г) предельное значение повреждения металла элемента конструкции ТВС за счет циклически повторяющихся нагрузок;

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

е) зарождение трещины по механизму коррозионного растрескивания.

19. Для элементов конструкций ТВС, изготовленных из сплавов на основе циркония, наряду с предельными состояниями, указанными в пункте 18 настоящих Основных требований, дополнительно должны использоваться следующие предельные состояния:

а) значение накопленных деформаций ползучести, при достижении которого может произойти разрушение элемента;

б) значение толщины окисной пленки на поверхности тонкостенных элементов ТВС, при достижении которого может произойти недопустимое охрупчивание металла;

в) значение содержания водорода в металле, при достижении которого происходит его недопустимое охрупчивание.

20. Для ТВС в целом в качестве предельного состояния должны использоваться значения предельно допустимых изменений геометрических размеров и формоизменения ТВС, включая прогибы.

21. В случае обнаружения трещин в тонкостенных элементах ТВС дополнительно к предельным состояниям, приведенным в пунктах 18, 19 настоящих Основных требований, должна быть добавлена минимальная длина

макротрещины в указанных элементах, способная привести к достижению предельных состояний, указанных в подпунктах «а», «б», «в» пункта 18 и в пункте 20 настоящих Основных требований, до окончания срока эксплуатации ТВС и достижения проектных значений выгорания топлива.

22. Для тех предельных состояний, которые характеризуются численными значениями критериев прочности и работоспособности, значения этих критериев должны быть установлены специализированной материаловедческой организацией (предельные состояния, указанные в подпункте «д» пункта 18, подпунктах «а», «б», «в» пункта 19 настоящих Основных требований) и разработчиком ТВС (предельные состояния, указанные в пунктах 20, 21 настоящих Основных требований), обоснованы в проекте РУ и приведены в ООБ АС. При изменениях конструкции ТВС, применении новых материалов, изменениях конструкции твэлов, изменениях норм ведения водно-химического режима теплоносителя первого контура РУ, изменениях технологии изготовления ТВС численные значения критериев прочности и работоспособности должны быть обоснованы или должно быть подтверждено сохранение их прежних значений.

VI. Коэффициенты запаса для критериев прочности и работоспособности тепловыделяющих элементов и тепловыделяющих сборок

23. В обоснованиях прочности и работоспособности твэлов и ТВС должны быть предусмотрены коэффициенты запаса для всех перечисленных в пункте 16, пунктах 18–20 настоящих Основных требований предельных состояний. Численные значения коэффициентов запаса должны обеспечивать недостижение предельных состояний при эксплуатации и должны быть обоснованы экспериментально и подтверждены опытом эксплуатации прототипов (за исключением коэффициентов запаса, устанавливаемых настоящими Основными требованиями).

24. При обосновании численных значений коэффициентов запаса необходимо учитывать:

а) опыт эксплуатации твэлов и ТВС аналогичной конструкции (при его наличии);

б) результаты экспериментов на стендах и в исследовательских реакторах;

в) погрешность расчетов напряженно-деформированного состояния и термомеханического поведения твэлов и ТВС;

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

Численные значения коэффициентов запаса должны обосновываться в проекте РУ и приводиться в ООБ АС.

VII. Требования к расчетным обоснованиям прочности и работоспособности тепловыделяющих элементов

25. При выполнении расчетного обоснования прочности и работоспособности твэлов необходимо учитывать:

а) механическое взаимодействие топлива и оболочки твэла в процессе эксплуатации, включая исчезновение и повторное появление газового зазора между топливом и оболочкой твэла;

б) влияние облучения, температуры и водорода на физико-механические и теплофизические свойства материалов топлива и оболочек твэлов;

в) изменение давления и состава газов под оболочкой твэла, в том числе за счет газовыделения из топлива;

г) анизотропию физико-механических и теплофизических свойств материалов топлива и оболочек твэлов;

д) ползучесть, распухание, усадку, радиационный рост материалов топлива и оболочек твэлов;

е) влияние величины газового зазора между топливом и оболочкой твэла, давления и состава газов на величину его термического сопротивления.

26. В процессе эксплуатации твэлов достижение перечисленных в пункте 16 настоящих Основных требований предельных состояний с учетом предусмотренных в обоснованиях прочности и работоспособности твэлов коэффициентов запаса не допускается.

27. Обоснование прочности твэлов при сейсмических и иных динамических воздействиях должно выполняться в составе конструкции ТВС с учетом накопленных геометрических изменений твэлов, при этом ползучесть, распухание, усадка, радиационный рост материалов топлива и оболочек твэлов за время сейсмического или иного динамического воздействия не учитываются.

VIII. Требования к расчетным обоснованиям прочности и работоспособности тепловыделяющих сборок

28. Обоснования прочности и работоспособности ТВС должны основываться на расчетах напряженно-деформированного состояния либо ТВС в целом, либо ее отдельных элементов, а также на расчетах термомеханического поведения активной зоны в целом. Расчетным путем должно быть выполнено обоснование недостижения в процессе эксплуатации ТВС всех перечисленных в пунктах 18–21 настоящих Основных требований предельных состояний, за исключением тех предельных состояний, недостижение которых обосновывается экспериментально.

29. При выполнении расчетов необходимо учитывать:

а) влияние облучения и температуры на физико-механические и теплофизические свойства материалов ТВС;

б) анизотропию физико-механических свойств металла элементов ТВС (при ее наличии);

в) ползучесть, радиационный рост (при их наличии) металла деталей ТВС, изготовленных из сплавов на основе циркония, в процессе эксплуатации;

г) проскальзывание (или отсутствие проскальзывания в случае заклинивания) и повороты твэлов в дистанционирующих решетках;

д) проскальзывание направляющих каналов (или отсутствие проскальзывания в случае заклинивания) в дистанционирующих решетках;

е) распределение потока нейтронов и температуры как по высоте ТВС, так и в горизонтальной плоскости;

ж) изменение усилий взаимодействия твэлов с дистанционирующими решетками в процессе эксплуатации;

з) изменение геометрических характеристик твэлов и ТВС в процессе эксплуатации;

и) поперечные силы взаимодействия между ТВС (при наличии механического взаимодействия);

к) осевые нагрузки на ТВС (механические, весовые и гидравлические).

30. Прочность и работоспособность ТВС должны обосновываться следующими расчетами:

а) на статическую прочность;

б) на длительную статическую прочность (только для элементов ТВС, изготовленных из сплавов на основе циркония);

в) на устойчивость;

г) на циклическую прочность;

д) на длительную циклическую прочность (только для элементов ТВС, изготовленных из сплавов на основе циркония);

е) на сопротивление хрупкому разрушению (нестабильное развитие постулированной трещины);

ж) на прогрессирующее формоизменение;

з) на вибропрочность;

и) на сейсмические и иные внешние динамические воздействия;

к) на время зарождения трещины по механизму коррозионного растрескивания (только для материалов, склонных к коррозионному растрескиванию);

л) на определение подроста трещины в пластинчатых элементах ТВС (в случае обнаружения трещин).

31. Геометрические размеры элементов конструкций ТВС должны устанавливаться разработчиком проекта ТВС исходя из обеспечения требуемых физических и теплогидравлических характеристик активной зоны, а также опыта эксплуатации прототипов ТВС.

32. Разработчиком проекта ТВС должны быть заданы все режимы эксплуатации ТВС, их количество за время эксплуатации, а также последовательность чередования этих режимов при эксплуатации.

33. Напряженное состояние ТВС (или элемента конструкции ТВС) должно определяться согласно установленной в проекте РУ последовательности режимов эксплуатации с учетом механических и температурных нагрузок, изменения физико-механических характеристик конструкционных материалов ТВС, а также радиационного формоизменения. Отнесение напряжений в элементах конструкций ТВС к различным категориям напряжений должно выполняться в соответствии с приложением № 4 к настоящим Основным требованиям.

IX. Расчет на статическую прочность

34. Расчет ТВС на статическую прочность должен выполняться для обоснования недостижения в процессе эксплуатации предельного состояния, указанного в подпункте «а» пункта 18 настоящих Основных требований, для всех элементов ТВС для всех установленных проектом РУ режимов эксплуатации.

35. При расчете на статическую прочность необходимо учитывать все статические нагрузки на ТВС (от приложенных сил, тепловые, от радиационного формоизменения) для всех эксплуатационных режимов. Остаточные напряжения при расчете на статическую прочность не учитываются.

36. Расчет ТВС на статическую прочность должен быть основан либо на ограничениях величин групп категорий напряжений, приведенных в приложении № 4 к настоящим Основным требованиям, относительно значений

$[\sigma]$, R_m^T, $R_{p0,2}^T$ при расчетной температуре, либо на обосновании того, что фактические нагрузки на ТВС или ее элементы конструкций будут меньше нагрузок, приводящих к возникновению предельного состояния, указанного в подпункте «а» пункта 18 настоящих Основных требований. Увеличение значений механических характеристик материалов ТВС в процессе эксплуатации при расчете ТВС на статическую прочность не учитывается.

37. Значение номинального допускаемого напряжения для элементов ТВС должно приниматься минимальным из следующих значений:

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

$[\sigma] = \min \{R_{p0,2}^T/n_{0,2}; R_{mt}^T/n_{mt}\}$ – для сплавов на основе циркония.

38. Минимальные значения коэффициентов запаса по пределу прочности, пределу текучести и пределу длительной прочности должны быть не менее:

$$n_m = 2,6;$$

$$n_{0,2} = 1,5;$$

$$n_{mt} = 1,5.$$

39. При определении номинальных допускаемых напряжений значения R_m^T, $R_{p0,2}^T$ и R_{mt}^T должны приниматься по данным документов по стандартизации.

40. Суммарная величина вызывающих возникновение однородной пластической деформации в сечении элемента ТВС напряжений, входящих в группу категорий напряжений $(\sigma)_1$, приведенных в приложении № 4 к настоящим Основным требованиям, должна быть не более:

$[\sigma]$ – при условиях НЭ;

1,2 $[\sigma]$ – при условиях ННЭ;

1,4 $[\sigma]$ – при условиях ПА.

41. Суммарная величина вызывающих возникновение пластического шарнира в сечении элемента ТВС напряжений, входящих в группу категорий напряжений $(\sigma)_2$, приведенных 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.

42. Размахи приведенных напряжений $(\sigma)_{RI}$ в элементах ТВС не должны превышать:

$$\min\left\{\left(2{,}5-\frac{R^T_{p0.2}}{R^T_m}\right)R^T_{p0.2};\quad 2R^T_{p0.2}\right\}.$$

При этом в зонах без концентрации напряжений максимальные и минимальные (по абсолютной величине) значения приведенных напряжений, входящих в определение категорий $(\sigma)_{RI}$, не должны превышать R^T_m.

43. Необходимость проверки указанного в пункте 42 настоящих Основных требований условия прочности по размахам приведенных напряжений в элементах ТВС устанавливается разработчиком проекта ТВС.

44. Для всех элементов ТВС в зонах приложения механической нагрузки средние напряжения смятия $(\sigma)_s$ не должны превышать $1{,}5R_{p0.2}{}^T$, а средние касательные напряжения среза $(\tau)_s$ не должны превышать 0,5 $[\sigma]$.

45. Если статическая прочность обосновывается сопоставлением фактических нагрузок на ТВС или ее элементы с нагрузками, приводящими к возникновению предельного состояния, указанного в подпункте «а» пункта 18 настоящих Основных требований, запас прочности должен быть не менее:

1,5 – при условиях НЭ;

1,25 – при условиях ННЭ;

1,1 – при условиях ПА.

46. При сложном нагружении ТВС или ее элементов, а также при наличии физической нелинейности деформирования материалов ТВС, консервативность результатов расчета в соответствии с пунктом 45 настоящих Основных требований должна быть обоснована.

X. Расчет на циклическую прочность

47. Расчет ТВС на циклическую прочность должен выполняться на стадии проектирования ТВС для обоснования недостижения всеми элементами конструкции ТВС предельного состояния, указанного в подпункте «г» пункта 18 настоящих Основных требований, к концу срока службы ТВС.

48. Если на стадии эксплуатации ТВС возникли повышенные по сравнению с проектными нагрузки или ожидается превышение количества циклов нагружения ТВС по сравнению с проектными значениями, дальнейшая эксплуатация ТВС может быть продолжена только после подтверждения выполнения приведенного в пункте 53 настоящих Основных требований условия циклической прочности с учетом указанных отклонений от проектных значений.

49. Расчет ТВС на циклическую прочность должен выполняться на основе результатов предварительно выполненных расчетов напряженно-деформированного состояния ТВС и ее конструктивных элементов для всех проектных режимов эксплуатации. Формирование расчетных циклов (полуциклов) изменения напряжений для расчета на циклическую прочность должно выполняться с учетом методов расчета приведенных местных условных упругих напряжений (в зависимости от используемой теории прочности).

50. Определение допускаемого числа циклов по заданным амплитудам приведенных напряжений или допускаемых амплитуд приведенных напряжений для заданного числа циклов должно проводиться:

а) по расчетным кривым усталости, характеризующим в пределах их применения зависимость между допускаемыми амплитудами напряжений (или условных напряжений при наличии пластических деформаций) и допускаемыми числами циклов;

б) по формулам, связывающим допускаемые амплитуды напряжений и допускаемые числа циклов.

51. Расчетные кривые усталости должны учитывать деградацию материала под облучением в температурном диапазоне эксплуатации ТВС,

скорость деформаций, влияние теплоносителя, асимметрию циклов нагружения и должны быть построены с учетом коэффициентов запаса прочности по числу циклов и по напряжениям.

52. Амплитуда эксплуатационного напряжения во всех элементах ТВС не должна превышать допускаемую амплитуду напряжения $[\sigma_{aF}]$, получаемую для заданных числа циклов N_i и максимального напряжения цикла $[\sigma_F]_{max}$. Если заданы амплитуда напряжения и максимальное напряжение цикла, то эксплуатационное число циклов N_i не должно превышать допускаемого числа циклов $[N_0]$.

53. Суммарное повреждение металла элемента конструкции ТВС за счет циклически повторяющихся нагрузок для всей совокупности проектных режимов должно определяться по зависимости:

$$a = \sum_{i=1}^{k} \frac{N_i}{[N_0]_i}.$$

Для всех элементов конструкции ТВС к концу срока службы ТВС до проектных значений выгорания топлива максимальное по объему конструкции суммарное повреждение металла a не должно превышать единицу.

54. Для сварных соединений ТВС должен учитываться коэффициент снижения циклической прочности, уменьшающий допускаемое количество циклов нагружения металла сварных соединений по сравнению с допускаемым количеством циклов нагружения основного металла $[N_0]$.

55. В случае, когда низкочастотные циклические напряжения, вызываемые пуском, остановом, изменением мощности, функционированием аварийной защиты реактора или другими режимами, сопровождаются наложением высокочастотных напряжений, в том числе, вызванных вибрацией, пульсацией температур при перемешивании потоков теплоносителя с различной температурой, расчет ТВС на циклическую прочность следует проводить с учетом особенностей суммирования повреждений от низкочастотных и высокочастотных нагружений.

56. Оценка циклической прочности на основе кривых усталости, полученных экспериментальным путем для рассматриваемых условий нагружения и состояния металла конструкции ТВС, или по результатам испытаний опытных образцов или их моделей, спроектированных и изготовленных в соответствии с требованиями, предъявляемыми к штатным ТВС, должна быть обоснована в проекте РУ и приведена в ООБ.

57. Значения коэффициентов запаса циклической прочности n_N и n_σ должны быть:

n_N – не менее 10;

n_σ – не менее 2.

58. Нагрузки на ТВС от динамических воздействий должны учитываться при расчете ТВС на циклическую прочность, если к концу срока службы ТВС максимальное суммарное накопленное повреждение металла элемента конструкции ТВС в режимах НЭ и ННЭ за счет циклически повторяющихся нагрузок превысит величину 0,8.

59. При обосновании циклической прочности ТВС должны применяться расчетные кривые усталости материалов (или зависимости, связывающие допускаемую амплитуду напряжений и допускаемое число циклов), коэффициенты снижения циклической прочности для сварных соединений, а также методы формирования расчетных циклов (или полуциклов) напряжений, установленные документов по стандартизации.

XI. Расчет на длительную циклическую прочность

60. Расчет ТВС на длительную циклическую прочность должен выполняться на стадии проектирования для элементов конструкции ТВС, изготовленных из сплавов на основе циркония, для обоснования недостижения этими элементами предельного состояния, указанного в подпункте «г» пункта 18 настоящих Основных требований, к концу срока службы ТВС с учетом ползучести.

61. Если на стадии эксплуатации ТВС возникли повышенные по сравнению с проектными нагрузки или ожидается превышение количества циклов нагружения ТВС по сравнению с проектными значениями, дальнейшая эксплуатация ТВС может быть продолжена только после подтверждения выполнения условия длительной циклической прочности с учетом указанных отклонений от проектных значений.

62. Расчет ТВС на длительную циклическую прочность должен выполняться по документам по стандартизации.

XII. Расчет на устойчивость

63. Расчет ТВС на устойчивость должен выполняться для обоснования недостижения как ТВС в целом, так и всеми элементами конструкции ТВС предельного состояния, указанного в подпункте «в» пункта 18 настоящих Основных требований, для всех проектных режимов эксплуатации РУ.

64. При расчете ТВС на устойчивость должны быть определены нагрузки, достижение которых вызовет общую потерю устойчивости ТВС или локальную потерю устойчивости элементов конструкции ТВС как при статических, так и при динамических нагрузках (критические нагрузки). Должно быть обосновано, что для ТВС в целом и для всех элементов конструкции ТВС все способные привести к потере устойчивости нагрузки в процессе эксплуатации не превысят их критических значений с учетом коэффициента запаса, равного двум.

65. При расчете ТВС на устойчивость должны учитываться:

а) отрицательные допуски толщин стенок тонкостенных элементов ТВС;

б) значения утонений этих элементов ТВС к концу проектного срока службы вследствие коррозии и (или) эрозии;

в) возможность механического взаимодействия ТВС друг с другом или с внутрикорпусными устройствами реактора вследствие изгиба ТВС;

г) возможные изменения размеров и формы элементов ТВС;

д) результаты экспериментов по определению критических значений нагрузок на ТВС (при их наличии).

66. Критические нагрузки на ТВС в целом и элементы ТВС должны рассчитываться с помощью программных средств или аналитически. При использовании аналитических зависимостей для расчета значений критических нагрузок в расчете ТВС на устойчивость должна быть обоснована консервативность полученных результатов.

XIII. Расчет на сопротивление хрупкому разрушению

67. Расчет ТВС на СХР должен выполняться в следующих случаях:

а) при проектировании ТВС новых конструкций;

б) в конструкциях существующих ТВС использованы новые конструкционные материалы, не применявшиеся ранее в элементах активных зон реакторов ВВЭР;

в) величина выгорания топлива превысит ранее обоснованные проектные значения.

68. Расчет ТВС на СХР должен выполняться для обоснования недостижения элементами ТВС предельного состояния, указанного в подпункте «б» пункта 18 настоящих Основных требований, к концу срока службы ТВС для всех предусмотренных проектом РУ режимов эксплуатации ТВС.

69. Для выполнения расчета ТВС на СХР в элементах ТВС должны быть определены места расположения постулированных расчетных трещин. Указанные трещины должны задаваться в местах наибольших значений коэффициентов интенсивности напряжений K_I или наименьших значений вязкости разрушения K_{JC}, или наименьших значений соотношения K_{JC} / K_I.

70. В расчете ТВС на СХР должны учитываться остаточные напряжения в сварных соединениях элементов ТВС и зонах термического влияния.

71. При выполнении расчета ТВС на СХР выбор формы и размеров постулированной расчетной трещины, характеристик вязкости разрушения и

критической температуры хрупкости материалов ТВС и последующий расчетный анализ должны выполняться по документам по стандартизации.

XIV. Расчет на длительную статическую прочность

72. Расчет ТВС на длительную статическую прочность должен выполняться на стадии проектирования для элементов ТВС, изготовленных из сплавов на основе циркония, для обоснования недостижения этими элементами предельных состояний, указанных в подпункте «а» пункта 18 и в подпункте «а» пункта 19 настоящих Основных требований, к концу срока службы ТВС с учетом ползучести.

73. Если на стадии эксплуатации ТВС возникли повышенные по сравнению с проектными значениями нагрузки, дальнейшая эксплуатация ТВС может быть продолжена только после подтверждения выполнения условия длительной статической прочности с учетом указанных отклонений от проектных значений.

74. Расчет ТВС на длительную статическую прочность должен выполняться по документам по стандартизации.

XV. Расчет на вибропрочность

75. Расчет ТВС на вибропрочность должен проводиться в случаях, если экспериментальное обоснование вибропрочности и результаты измерений вибраций ТВС при пусконаладочных работах на реакторах ВВЭР не охватывают всех проектных режимов эксплуатации ТВС (включая НЭ и ННЭ), а опыт эксплуатации прототипов отсутствует или является недостаточным.

76. Расчетом ТВС на вибропрочность должно быть обосновано, что колебания давления и иные воздействия теплоносителя не приведут к появлению недопустимых амплитуд колебаний элементов конструкции ТВС и ТВС в целом во всех проектных режимах эксплуатации ТВС.

77. Расчет ТВС на вибропрочность должен содержать:

а) определение частот и форм колебаний ТВС с помощью аттестованных программных средств;

б) определение максимальных амплитуд колебаний ТВС для всего спектра детерминированных частот колебаний давления теплоносителя;

в) проверку на отсутствие виброударных взаимодействий ТВС друг с другом или другими элементами активной зоны с целью исключения повышенного износа;

г) расчет на циклическую и длительную циклическую прочность с учетом вибронапряжений в соответствии с настоящими Основными требованиями.

78. В расчете ТВС на вибропрочность должны использоваться базы данных результатов измерений вибрационных характеристик, полученные на экспериментальных стендах и при измерениях на реакторах ВВЭР при пусконаладочных работах.

XVI. Расчет на внешние динамические воздействия

79. С помощью расчета ТВС на внешние ДВ должно быть обосновано, что для всех режимов эксплуатации РУ, включая НЭ и ННЭ, для всех элементов ТВС при динамических нагрузках, передаваемых на ТВС при землетрясениях, падениях летательных аппаратов и взрывах, не будут достигнуты предельные состояния, указанные в подпунктах «а», «б», «в», «д» пункта 18 и в пункте 20 настоящих Основных требований.

80. При расчете ТВС на ДВ значения динамических нагрузок на ТВС 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 разработчиками проектов РУ и АС.

81. Расчет ТВС на внешние ДВ должен выполняться методом динамического анализа (по акселерограммам) или линейно-спектральным

методом (по спектрам ответа) с использованием программных средств. Возможность применения линейно-спектрального метода расчета должна быть обоснована в расчете ТВС на внешние ДВ.

82. Применение статического метода расчета ТВС на сейсмические воздействия допускается только в случаях, когда низшая частота собственных колебаний конструкции ТВС 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.

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

84. При сейсмических воздействиях сочетания расчетных нагрузок и допускаемые напряжения в элементах конструкции ТВС должны приниматься в соответствии с федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии, устанавливающими требования к определению сочетаний расчетных нагрузок и допускаемых напряжений при сейсмических воздействиях. При иных ДВ сочетания расчетных нагрузок и допускаемые напряжения должны задаваться в соответствии с приложением № 5 к настоящим Основным требованиям.

85. В случае невыполнения одного из условий прочности по предельным состояниям, указанным в подпунктах «а», «в» пункта 18 настоящих Основных требований, должен быть выполнен расчет необратимых прогибов ТВС и накопленных элементами ТВС пластических деформаций, и в расчете ТВС на ДВ должно быть обосновано недостижение предельного состояния, указанного в подпункте «д» пункта 18 настоящих Основных требований.

86. При расчете ТВС на ДВ с применением расчетной модели, включающей в себя твэлы, оценка прочности твэлов должна выполняться по критерию, указанному в подпункте «д» пункта 16 настоящих Основных требований.

XVII. Расчет на прогрессирующее формоизменение

87. Расчетом ТВС на прогрессирующее формоизменение должно быть обосновано, что к концу срока службы ТВС изменения геометрических размеров ТВС (включая прогибы, зазоры между соседними ТВС), не достигнут предельного состояния, указанного в пункте 20 настоящих Основных требований.

88. Расчет на прогрессирующее формоизменение должен выполняться с применением программных средств с учетом накопления элементами конструкции ТВС пластических деформаций и деформаций ползучести при всех проектных режимах эксплуатации ТВС, включая НЭ, ННЭ.

XVIII. Расчет на коррозионно-статическую прочность

89. Расчетом ТВС на коррозионно-статическую прочность должно быть обосновано, что к концу срока службы ТВС не будет достигнуто предельное состояние, указанное в подпункте «е» пункта 18 настоящих Основных требований.

90. Расчет ТВС на коррозионно-статическую прочность должен выполняться для элементов ТВС, изготовленных из материалов, склонных к коррозионному растрескиванию в среде теплоносителя ВВЭР при нейтронном облучении.

91. Расчет следует проводить для всех проектных режимов НЭ, ННЭ и ПА с учетом остаточных напряжений в сварных соединениях ТВС.

92. Для всех элементов ТВС минимальное время зарождения трещины по механизму коррозионного растрескивания с запасом должно быть больше срока службы ТВС.

93. Расчет ТВС на коррозионно-статическую прочность должен выполняться по документам по стандартизации.

XIX. Расчет прочности элементов ТВС, содержащих несплошности

94. Расчет прочности элементов ТВС, содержащих несплошности, должен выполняться в случаях, когда при входном контроле ТВС или на стадии эксплуатации в элементах ТВС выявлены несплошности, которые могут быть схематизированы в виде трещин.

95. Для элемента конструкции ТВС со схематизированной трещиной должен быть выполнен расчет длины этой трещины на конец срока эксплуатации ТВС с учетом:

а) всех механических (за исключением нагрузок при ДВ) и тепловых нагрузок на ТВС в процессе эксплуатации;

б) подроста трещины за счет циклических нагрузок на элементы ТВС с учетом влияния теплоносителя;

в) подроста трещины по механизму коррозионного растрескивания (при склонности металла элемента ТВС к коррозионному растрескиванию);

г) ползучести (для сплавов на основе циркония);

д) остаточных напряжений в сварных соединениях элементов конструкции ТВС.

96. Схематизация несплошностей в виде трещин и расчет подроста трещины в процессе эксплуатации ТВС должны выполняться по документам по стандартизации.

97. После вычисления размеров трещины на конец срока службы ТВС должны быть выполнены расчеты ТВС на прочность согласно главам IX, XII, XIII, XIV, XVI, XVII настоящих Основных требований. Если результаты расчетов ТВС согласно указанным главам настоящих Основных требований свидетельствуют о выполнении условий прочности, то эксплуатация ТВС может быть продолжена до окончания ее проектного срока службы. В противном случае загрузка ТВС в реактор не допускается.

XX. Требования к экспериментальному обоснованию прочности и работоспособности тепловыделяющих элементов и тепловыделяющих сборок

98. Экспериментальное обоснование прочности и работоспособности твэлов и ТВС должно выполняться в исследовательских реакторах и (или) на экспериментальных стендах (включая оборудование для послереакторных исследований) в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации твэлов и ТВС в реакторах ВВЭР.

99. Экспериментальному обоснованию прочности и работоспособности твэлов и ТВС должна предшествовать разработка программы проведения экспериментов, в которой должны быть указаны цели и задачи экспериментов, перечень измеряемых характеристик и методы их контроля.

100. Средства контроля (измерений) должны быть поверены и калиброваны в соответствии с Федеральным законом от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2008, № 26, ст. 3021; 2011, № 30, ст. 4590; № 49, ст. 7025; 2012, № 31, ст. 4322; 2013, № 49, ст. 6339; 2014, № 26, ст. 3366; № 30, ст. 4255; 2015, № 29, ст. 4359).

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1
к федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии «Основные требования к обоснованию прочности и термомеханического поведения тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов в активной зоне водо-водяных энергетических реакторов», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору

от «18» декабря 2016 г. № 13

Список сокращений

АС	–	атомная станция
ВВЭР	–	водо-водяной энергетический реактор
ДВ	–	динамические воздействия
ННЭ	–	нарушение нормальной эксплуатации
НЭ	–	нормальная эксплуатация
ООБ	–	отчет по обоснованию безопасности
ПА	–	проектная авария
РУ	–	реакторная установка
СХР	–	сопротивление хрупкому разрушению
ТВС	–	тепловыделяющая сборка
твэл	–	тепловыделяющий элемент

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2
к федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии «Основные требования к обоснованию прочности и термомеханического поведения тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов в активной зоне водо-водяных энергетических реакторов», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору

от «18» декабря 2016 г. № 13

Термины и определения

В настоящих Основных требованиях используются следующие термины и определения.

1. **Авария с потерей теплоносителя** – резкое ухудшение условий охлаждения твэлов вследствие разуплотнения контура циркуляции теплоносителя первого контура реактора.

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

3. **Несущая способность** – максимальная нагрузка, которую могут нести элементы твэлов или ТВС без потери определенных проектом функциональных качеств.

4. **Номинальное допускаемое напряжение** – условная величина, равная предельно допустимому напряжению при одноосном напряженном состоянии, которая определяется по пределам прочности, текучести и длительной прочности материалов ТВС при расчетной температуре в рассматриваемом режиме.

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

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

7. Общая потеря устойчивости – потеря устойчивости ТВС под воздействием продольных сжимающих нагрузок и (или) крутящего момента с изгибом или кручением всей ТВС.

8. Повреждение (повреждаемость) металла – условная мера необратимого накопления в металле деструктивных факторов при его деформировании, способном привести к нарушению сплошности или разрушению. Обычно состоянию разрушения или нарушению сплошности соответствует повреждаемость металла, равная единице.

9. Постулированная трещина – искусственно введенный в расчетную схему дефект в виде трещины (сквозной, полуэллиптической или четверть-эллиптической формы) с целью расчета на сопротивление хрупкому разрушению или расчета кинетики ее подроста и определения ее размеров в конце проектного срока эксплуатации.

10. Предельное состояние – значение какого-либо параметра твэла или ТВС, превышение которого при эксплуатации приведет к нарушению целостности, появлению перемещений, превышающих проектные значения, или старту механизмов разрушения металла.

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

12. Работоспособность – способность твэлов и ТВС выполнять функции, определенные требованиями нормативной и проектной документации в течение проектного срока службы.

13. Расчетная температура – максимальное среднее интегральное значение температуры по толщине стенки (сечения) элемента ТВС в рассматриваемом режиме нагружения.

14. Реактивностная авария – резкое увеличение мощности реактора вследствие его разгона на мгновенных нейтронах.

15. Специализированная материаловедческая организация – организация, оказывающая услуги эксплуатирующей организации по разработке и обоснованию возможности использования материалов элементов активных зон реакторов.

16. Схематизация несплошностей – основанное на принципах консерватизма представление не поддающихся расчетному анализу несплошностей (поры, включения, раковины, непровары, расслоения и пр.) в виде трещины, учитываемой в расчетах на прочность.

17. Термомеханическое поведение – процессы механического взаимодействия конструкционных элементов твэлов и ТВС при циклах разогрева и расхолаживания при эксплуатации или испытаниях.

18. Тонкостенные элементы ТВС – элементы ТВС, толщина стенки которых намного меньше их геометрических размеров (дистанционирующие решетки, уголки каркаса, чехловые трубы).

19. Условное напряжение – напряжение за пределами упругости, величина которого определяется по упругопластическим деформациям в соответствии с законом Гука.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 3
к федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии «Основные требования к обоснованию прочности и термомеханического поведения тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов в активной зоне водо-водяных энергетических реакторов», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору

от «18» декабря 2016 г. № 13

Условные обозначения

a	–	повреждение (повреждаемость) металла
i	–	порядковый номер типа цикла нагружения
k	–	общее количество типов циклов нагружения
k_D	–	относительное демпфирование
N	–	число циклов нагружения
$[N_0]$	–	допускаемое число циклов нагружения
R_m^T	–	минимальное значение предела прочности при расчетной температуре, МПа
$R_{mt}{}^T$	–	минимальное значение предела длительной прочности при расчетной температуре, МПа
$R_{p0.2}^T$	–	минимальное значение предела текучести при расчетной температуре, МПа
$[\sigma]$	–	номинальное допускаемое напряжение, МПа
σ_m	–	общие мембранные напряжения, МПа
σ_{mL}	–	местные мембранные напряжения, МПа
σ_b	–	общие изгибные напряжения, МПа
σ_{bL}	–	местные изгибные напряжения, МПа

σ_s – напряжения смятия, МПа

τ_s – напряжения среза, МПа

σ_T – общие температурные напряжения, МПа

σ_{TL} – местные температурные напряжения, МПа

σ_{nl} – нелинейные составляющие напряжений, МПа

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения, МПа

$(\sigma)_{RV}$ – размах приведенных напряжений в элементах ТВС, МПа

(σ_{aF}) – амплитуда цикла местных условных упругих приведенных напряжений с учетом концентрации напряжений, МПа

$(\sigma_F)_{max}$ – максимальные местные условные упругие приведенные напряжения с учетом концентрации напряжений, МПа

n_m – коэффициент запаса по пределу прочности

$n_{0.2}$ – коэффициент запаса по пределу текучести

n_{mt} – коэффициент запаса по пределу длительной прочности

n_N – коэффициент запаса прочности по числу циклов при расчетах на циклическую прочность

n_σ – коэффициент запаса прочности по условным местным приведенным напряжениям при расчетах на циклическую прочность

K_I – коэффициент интенсивности напряжений для трещины нормального отрыва, МПа·м$^{1/2}$

K_{JC} – вязкость разрушения, МПа·м$^{1/2}$

ПРИЛОЖЕНИЕ № 4
к федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии «Основные требования к обоснованию прочности и термомеханического поведения тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов в активной зоне водо-водяных энергетических реакторов», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору

от «18» января 2016 г. № 13

Категории напряжений в элементах конструкций ТВС

1. При проведении расчета ТВС на прочность 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 в зависимости от вида, характера нагрузок и целей расчета.

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

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

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

4. При оценке циклической прочности и сопротивления хрупкому разрушению учитываются все напряжения, создаваемые в данной точке приложенными нагрузками, с учетом концентрации напряжений.

5. Используемые при расчетах на статическую и циклическую прочность приведенные напряжения групп $(\sigma)_1$, $(\sigma)_2$, $(\sigma)_{RV}$, (σ_{aF}) применительно к различным элементам конструкций приведены в таблице № 1 настоящего Приложения.

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

7. В группу (σ_{aF}) входят все категории напряжений, определяемые от всех видов нагружения с учетом концентрации напряжений.

8. Местные напряжения смятия $(\sigma)_s$ и среза $(\tau)_s$ используются только для оценки прочности в зонах приложения нагрузки.

Таблица № 1

Примеры объединения категорий напряжений в группы

Название группы	**Обозначение приведенных напряжений группы**	**Категории напряжений, входящие в группу**
Приведенные общие мембранные напряжения	$(\sigma)_1$	σ_m
Приведенные напряжения, определяемые по суммам общих или местных мембранных и общих изгибных напряжений	$(\sigma)_2$	$[\sigma_m$ или $\sigma_{mL}]+\sigma_b$
Размах приведенных напряжений, определяемый по суммам составляющих общих или местных мембранных, общих и местных изгибных, общих температурных напряжений	$(\sigma)_{R1}$	$[\sigma_m$ или $\sigma_{ml}]+$ $\sigma_b+\sigma_{nL}+\sigma_t$
Амплитуда приведенных напряжений, определяемая по суммам составляющих общих или местных мембранных, общих и местных изгибных, общих и местных температурных напряжений с учетом концентрации напряжений	(σ_{aF})	$[\sigma_m$ или $\sigma_{ml}]+$ $\sigma_b+\sigma_{bL}+\sigma_t$ с учетом концентрации напряжений

Таблица № 2

Нагрузки на тепловыделяющие сборки, определяющие расчетные группы категорий напряжений $(\sigma)_1$, $(\sigma)_2$, $(\sigma)_{RV}$

Рассчитываемая зона	Нагрузки, определяющие группу	Категории напряжений, входящие в группу	Обозначение приведенных напряжений группы
Протяженные по высоте элементы	Осевая сила + весовая нагрузка + усилия со стороны соседних ТВС	Общие мембранные	$(\sigma)_1$
		Общие мембранные + общие изгибные	$(\sigma)_2$
	Осевая сила + весовая нагрузка + усилия со стороны соседних ТВС + температурное поле	Общие мембранные + общие изгибные + общие температурные	$(\sigma)_{RV}$
Зона соединения протяженных по высоте участков с плоскими элементам	Осевая сила + весовая нагрузка + усилия со стороны соседних ТВС + усилия со стороны плоских элементов	Местные мембранные	$(\sigma)_2$
	Осевая сила + весовая нагрузка + усилия со стороны соседних ТВС + усилия со стороны плоских элементов + температурное поле	Местные мембранные + местные изгибные + общие температурные	$(\sigma)_{RV}$
Центральная часть плоских элементов	Осевая сила + весовая нагрузка + усилия со стороны протяженных элементов ТВС (механические)	Общие изгибные	$(\sigma)_2$
	Осевая сила + весовая нагрузка + усилия со стороны протяженных элементов ТВС (механические + температурное поле)	Общие изгибные + общие температурные	$(\sigma)_{RV}$

ПРИЛОЖЕНИЕ № 5
к федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии «Основные требования к обоснованию прочности и термомеханического поведения тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов в активной зоне водо-водяных энергетических реакторов», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору

от «18» декабря 2016 г. № 13

Сочетания нагрузок и допускаемые напряжения для элементов конструкции тепловыделяющих сборок при динамических воздействиях

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 $[\sigma]$

gost.e-ecolog.ru