НП-054-04

**ФЕДЕРАЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА**

**В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ**

**НОРМЫ**

**РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ**

**ДЛЯ СУДОВЫХ АТОМНЫХ ПАРОПРОИЗВОДЯЩИХ УСТАНОВОК**

**С ВОДО-ВОДЯНЫМИ РЕАКТОРАМИ**

**НП-054-04**

Дата введения 2005-01-05

УТВЕРЖДЕНЫ постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 4 октября 2004 г. № 6

Настоящие нормы и правила предназначены для организаций и предприятий, осуществляющих расчеты на прочность и долговечность элементов оборудования и трубопроводов судовых атомных паропроизводящих установок.

Нормы распространяются на элементы 1-3 классов безопасности согласно Общим положениям обеспечения безопасности ядерных энергетических установок судов судовых паропроизводящих установок с водо-водяными реакторами под давлением, работающими при температуре теплоносителя не выше 623 К.

Нормы устанавливают общие требования к проведению расчетов на прочность и долговечность оборудования и трубопроводов на стадиях проектирования, сооружения и эксплуатации судовых атомных паропроизводящих установок, а также к проведению испытаний на виброустойчивость, вибропрочность и циклическую прочность.

Разработаны впервые \*.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\* Разработка осуществлена в Научно-техническом центре по ядерной и радиационной безопасности. В разработке принимали участие Карпунин Н.И., Нещеретов И.И. (НТЦ ЯРБ), Европин С.В., Ташкинов А.В. (ИЦП МАЭ), Аношин В.М. (ФГУП ОКБМ имени Африкантова И.И.).

При разработке рассмотрены и учтены замечания специалистов ФГУП РНЦ РФ "ЦНИИ имени академика А.Н. Крылова", ОАО ЦКБ "Айсберг", структурных подразделений и межрегиональных территориальных округов.

**Перечень сокращений**

ННЭ - нарушение нормальной эксплуатации

НЭ - нормальная эксплуатация

ППУ - паропроизводящая установка

ТУ - технические условия

**Условные обозначения**

S - номинальная толщина стенки, мм

SR - расчетная толщина стенки, мм

C - суммарная прибавка к расчетной толщине стенки, мм

nm - коэффициент запаса прочности по пределу прочности

n0,2 - коэффициент запаса прочности по пределу текучести

T - расчетная температура, К

[]- номинальное допускаемое напряжение, МПа

[]W - номинальное допускаемое напряжение в болтах и шпильках, МПа

**Основные термины и определения**

В целях настоящего документа используются следующие термины и определения.

**1. Амплитуда напряжений - половина от разности максимального и минимального напряжений, возникающих в цикле изменения напряжений.**

**2. Вибрационные нагрузки - нагрузки со стороны корпусных конструкций и фундаментов судна, вызываемые ходовыми вибрациями первого и лопастного порядка, возмущающей силой от работающего поблизости механизма, и от гидродинамических сил.**

**3. Гидравлическое испытание - нагружение оборудования или трубопроводов давлением с целью проверки их прочности и герметичности после изготовления, монтажа, периода эксплуатации, ремонта или замены оборудования.**

**4. Группа категорий напряжений - совокупность категорий напряжений, вызывающих определенное предельное состояние.**

**5. Долговечность - свойство оборудования или трубопроводов (и ППУ в целом) сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния.**

**6. Затяг болтов и шпилек - нагружение оборудования или трубопроводов, вызываемое сборкой резьбовых соединений.**

**7. Изменение мощности реактора - эксплуатационный режим, при котором происходит переход с одного стационарного режима работы реактора на другой (за исключением режимов пуска и остановки).**

**8. Категория напряжений - тип напряжений, выделенный по какому-либо признаку (по виду эпюры; по протяженности зоны действия; по виду нагружения, вызывающего данное напряжение, и др.).**

**9. Критерий предельного состояния - признак или совокупность признаков предельного состояния элементов, установленный нормативной и (или) конструкторской (проектной) документацией.**

**10. Назначенный срок службы - календарная продолжительность эксплуатации ППУ (и ее элементов), установленная проектом, при достижении которой дальнейшая эксплуатация оборудования или трубопроводов (и установки в целом) может быть продолжена только после специального решения, принимаемого на основании проведенного обоснования безопасности данной эксплуатации.**

**11. Нарушение нормальной эксплуатации - нарушение в работе ППУ, при котором произошло отклонение от установленных эксплуатационных условий и пределов.**

**12. Нормальная эксплуатация - эксплуатация ППУ в определенных проектом эксплуатационных условиях и пределах.**

**13. Остановка - эксплуатационный режим, при котором температура и нагрузки в ППУ изменяются от значений параметров любого из эксплуатационных режимов до начальных значений параметров последующего режима пуска.**

**14. Паропроизводящая установка - часть ядерной энергетической установки судна, в состав которой входят реактор, оборудование, трубопроводы первого и второго контуров и парогенератор.**

**15. Полуцикл изменения напряжения - монотонное изменение напряжения от максимального (минимального) значения до минимального (максимального) значения.**

**16. Предельное состояние - состояние элементов, при котором их дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление их работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно. При переходе элементов в предельное состояние их эксплуатация должна быть временно или окончательно прекращена (они выводятся из работы в ремонт или снимаются с эксплуатации).**

**17. Пуск - эксплуатационный режим, в процессе которого нагрузки и температура в ППУ меняются от начальных значений до значений, соответствующих стационарному режиму. При пуске температура и нагрузки могут превышать значения, соответствующие стационарному режиму.**

**18. Работоспособное состояние, работоспособность - состояние элементов, при котором значение всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативной и (или) конструкторской (проектной) документации.**

**19. Расчетное давление - избыточное максимальное давление, действующее на оборудование или трубопровод и используемое при расчете по выбору основных размеров, при котором допускается работа данного оборудования или трубопровода при режимах НЭ.**

**20. Расчетная температура - температура стенки оборудования или трубопровода, равная максимальному среднеарифметическому значению температур на его наружной и внутренней поверхности в одном сечении при стационарном режиме эксплуатации ППУ на максимальной мощности.**

**21. Ресурс - суммарная наработка оборудования или трубопроводов от начала их эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.**

**22. Стационарный режим - эксплуатационный режим, при котором нагрузки и температура сохраняются в пределах ±5% от номинальных значений, заданных конструкторской (проектной) документацией.**

**23. Ударная нагрузка - нагрузка, характеризуемая малой продолжительностью действия (5-200 мс).**

**24. Условное упругое напряжение - напряжение за пределами упругости, величина которого определяется в соответствии с законом Гука.**

**25. Функционирование системы аварийной защиты - эксплуатационный режим, при котором происходит изменение температуры и нагрузок (как в сторону повышения, так и в сторону понижения) от их значений при стационарном режиме, пуске или остановке до соответствующих промежуточных значений.**

**26. Ходовая вибрация лопастного порядка - вибрация корпуса судна с частотой, кратной частоте вращения гребного вала на режимах полного хода и реверса.**

**27. Ходовая вибрация первого порядка - вибрация корпуса судна с частотой, равной частоте вращения гребного вала на режимах полного хода и реверса.**

**28. Цикл изменения напряжения - изменение напряжения от исходного значения до конечного, равного исходному, при котором достигаются одно максимальное и одно минимальное значения напряжений.**

**29. Эксплуатационные условия - установленные проектом условия по количеству, характеристикам, состоянию работоспособности и техническому обслуживанию оборудования и трубопроводов и ППУ в целом, необходимые для работы без нарушения эксплуатационных пределов.**

**30. Эксплуатационные пределы - значения параметров и характеристик состояния оборудования и трубопроводов (и ППУ в целом), заданные проектом ядерной энергетической установки для нормальной эксплуатации.**

**1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

**1.1. Назначение и область распространения**

1.1.1. Федеральные нормы и правила "Нормы расчета на прочность элементов оборудования и трубопроводов судовых атомных паропроизводящих установок с водо-водяными реакторами" (далее - Нормы) должны применяться при обосновании прочности и долговечности элементов конструкций оборудования и трубопроводов судовых атомных ППУ.

1.1.2. Нормы распространяются на элементы 1-3 классов безопасности по классификации Общих положений обеспечения безопасности ядерных энергетических установок судов судовых ППУ с водо-водяными реакторами под давлением, работающими при температуре теплоносителя не выше 623 К, в том числе на сосуды под давлением, на корпуса насосов, арматуру и трубопроводы ППУ.

1.1.3. Нормы не распространяются на следующие элементы ППУ:

- тепловыделяющие элементы и сборки;

- стержни систем управления и защиты;

- элементы внутрикорпусных устройств реакторной установки;

- электромеханическое оборудование;

- опоры и подвески оборудования и трубопроводов;

- элементы, расположенные в корпусных частях оборудования и трубопроводов с целью изучения их работоспособности;

- набивные прокладки и неметаллические элементы узлов уплотнения.

1.1.4. Нормы устанавливают общие принципы обоснования прочности и требования к проведению расчетов на прочность и к определению ресурса оборудования и трубопроводов при проектировании, сооружении и эксплуатации судовых атомных ППУ, а также к проведению испытаний на виброустойчивость, вибропрочность и циклическую прочность.

1.1.5. Расчеты на прочность оборудования и трубопроводов на стадиях сооружения и эксплуатации должны проводиться в следующих случаях:

- вышло за пределы значений, использованные в расчетах на стадии проектирования, хотя бы одно из значений механических характеристик материала;

- установлено изменение условий взаимодействия оборудования, трубопроводов и опорных конструкций между собой (заклинивание, выбор зазоров и пр.);

- обнаружены дефекты, размеры которых превышают допускаемые размеры, установленные действующими нормативными документами и (или) конструкторской, технологической и эксплуатационной документацией;

- превысило значение, заложенное в расчет при проектировании, утонение стенки оборудования или трубопроводов за счет общей или местной коррозии или эрозии;

- изменились более чем на 5% от значений, использованных при проектировании, значения величин нагрузок на оборудование и трубопроводы при НЭ и (или) ННЭ, либо жесткостных характеристик опорных конструкций;

- превысило проектные значения фактическое количество режимов НЭ, ННЭ или испытаний;

- достигнуто (или превышено) предельно допускаемое конструкторской документацией значение циклического повреждения металла в какой-либо зоне оборудования или трубопровода.

1.1.6. Методики выполнения расчетов по выбору основных размеров, обоснования прочности и ресурса оборудования и трубопроводов должны устанавливаться в одобренных Федеральной службой по атомному надзору документах организаций, занимающихся проектированием и изготовлением оборудования и трубопроводов.

1.1.7. Нормы не регламентируют методы расчета усилий, температурных полей и напряженно-деформированного состояния. Указанные методы должны выбираться организацией, выполняющей соответствующие расчеты, а используемые при этом программные средства должны быть аттестованы.

**1.2. Принципы, положенные в основу Норм**

1.2.1. В Нормах используются принципы оценки прочности по следующим предельным состояниям:

а) вязкое или хрупкое разрушение;

б) пластическая деформация по всему сечению элемента конструкции;

в) потеря устойчивости;

г) возникновение и накопление остаточных изменений формы и размеров, приводящих к невозможности эксплуатации элемента конструкции;

д) появление макротрещин при циклическом нагружении.

Расчет по указанным предельным состояниям следует проводить с использованием кратковременных, а для деталей, изготовленных из титановых сплавов, - длительных характеристик прочности и пластичности материалов.

1.2.2. Расчет на прочность оборудования и трубопроводов необходимо проводить в два этапа - расчет по выбору основных размеров и поверочный расчет. При оценке прочности конструкций на стадиях проектирования и сооружения должны полностью удовлетворяться требования расчета по выбору основных размеров и поверочного расчета. На стадии эксплуатации расчет по выбору основных размеров допускается не проводить.

1.2.3. При выполнении расчета по выбору основных размеров необходимо учитывать действующее на оборудование и трубопроводы давление (внутреннее и наружное), а дополнительно для болтов и шпилек - усилие затяга.

1.2.4. В качестве основных механических характеристик материалов, используемых при определении значений номинальных допускаемых напряжений, принимаются временное сопротивление (предел прочности при растяжении) и предел текучести. Номинальные допускаемые напряжения следует устанавливать по указанным характеристикам путем введения соответствующих коэффициентов запаса прочности.

1.2.5. Величины коэффициентов запаса прочности назначают, исходя из многолетней практики конструирования и проектирования с учетом опыта эксплуатации оборудования и трубопроводов.

1.2.6. При выборе основных размеров следует оценивать прочность по следующим предельным состояниям: вязкое разрушение, охват пластической деформацией всего сечения элемента, потеря устойчивости и достижение предельной деформации.

1.2.7. Поверочный расчет необходимо проводить для оборудования и трубопроводов с выбранными основными размерами или по фактическим размерам.

1.2.8. При поверочном расчете следует учитывать все действующие на конструкцию нагрузки (включая нагрузки от тепловых воздействий) и рассматривать все режимы эксплуатации.

1.2.9. Поверочный расчет включает в себя:

а) расчет на статическую прочность;

б) расчет на устойчивость;

в) расчет на циклическую прочность;

г) расчет на сопротивление хрупкому разрушению;

д) расчет на ударостойкость;

е) расчет на вибропрочность.

1.2.10. Расчет на статическую прочность проводят с целью установить, что при всех значениях нагрузок и температур в режимах работы ППУ, регламентированных проектом, напряжения в элементе не превышают допускаемые значения, определенные по предельным состояниям, указанным в подпунктах а), б) и г) пункта 1.2.1.

1.2.11. Расчет на устойчивость заключается в определении допускаемых нагрузок, превышение которых вызывает потерю устойчивости элементов конструкций оборудования и трубопроводов.

1.2.12. Расчет на циклическую прочность выполняют с целью исключения возникновения макротрещин в элементах конструкций оборудования и трубопроводов, находящихся под действием циклических нагрузок. Допускаемые амплитуды напряжений определяют, исходя из характеристик сопротивления усталостному разрушению, зависящих в общем случае от температуры, времени, параметров рабочей среды и флюенса нейтронов, с введением запасов прочности по числу циклов и по напряжениям. В результате расчета на циклическую прочность устанавливают допускаемое число повторений эксплуатационных режимов и гидравлических испытаний для заданных величин нагрузок и назначенного срока службы.

1.2.13. Расчет на сопротивление хрупкому разрушению проводят методами механики разрушения. На основании этого расчета подтверждают невозможность разрушения элементов при наличии постулированного дефекта (трещины) в течение назначенного срока службы и определяют температурные режимы гидравлических испытаний в течение назначенного срока службы.

1.2.14. Ударостойкость оборудования и трубопроводов оценивают по двум предельным состояниям. Первое характеризуется достижением в наиболее напряженных областях конструкций оборудования и трубопроводов заданной пластической деформации, второе - достижением линейных или угловых перемещений, при которых возможно нарушение работоспособности элементов.

1.2.15. Расчет на вибропрочность проводят с целью уменьшения параметров вибрационного нагружения на оборудование и трубопроводов путем отстройки частоты собственных колебаний от возмущающих частот источника вибрации. Допустимость вибрационных нагрузок может быть подтверждена экспериментальным и (или) расчетным путем при расчете на циклическую прочность.

1.2.16. Приведенные напряжения, сопоставляемые с допускаемыми, следует определять по теории наибольших касательных напряжений, за исключением расчета на сопротивление хрупкому разрушению, в котором приведенные напряжения устанавливают согласно теории наибольших нормальных напряжений.

1.2.17. Расчет напряжений без учета концентрации следует проводить в предположении линейно-упругого поведения материала, за исключением особо оговоренных случаев. При оценке прочности за пределами упругости надо использовать условное упругое напряжение.

1.2.18. Полученные в результате поверочного расчета данные (напряжения, коэффициенты интенсивности напряжений, циклические повреждения металла и др.) сопоставляют с соответствующими допускаемыми значениями.

1.2.19. В расчетах по выбору основных размеров и в поверочных расчетах повышение пределов прочности и текучести под действием флюенса нейтронов следует не учитывать. Снижение характеристик пластичности и сопротивления хрупкому разрушению следует принимать во внимание при проведении соответствующих расчетов.

1.2.20. Возможное коррозионное воздействие рабочих сред следует учитывать как при выборе основных размеров (прибавка к толщине стенки), так и при поверочном расчете.

1.2.21. Допускается обосновывать прочность элементов конструкций оборудования и трубопроводов путем экспериментальных исследований, методики и программы которых должны устанавливаться в одобренных Федеральной службой по атомному надзору документах организаций, занимающихся проектированием и изготовлением оборудования и трубопроводов.