Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор)

ФЕДЕРАЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

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

НОРМЫ

РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ СУДОВЫХ АТОМНЫХ ПАРОПРОИЗВОДЯЩИХ УСТАНОВОК С ВОДО-ВОДЯНЫМИ РЕАКТОРАМИ

НП-054-04

Введены в действие
с 5 января 2005 г.

Москва 2004

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.039

НОРМЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ СУДОВЫХ АТОМНЫХ ПАРОПРОИЗВОДЯЩИХ УСТАНОВОК С ВОДО-ВОДЯНЫМИ РЕАКТОРАМИ. НП-054-04

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору
Москва, 2004

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*.

Содержание

Перечень сокращений
Условные обозначения
Основные термины и определения
1. Общие положения
   1.1. Назначение и область распространения
   1.2. Принципы, положенные в основу Норм
2. Номинальные допускаемые напряжения
3. Выбор основных размеров
4. Поверочный расчет
   4.1. Общие положения
   4.2. Порядок определения напряжений
   4.3. Расчет на статическую прочность
   4.4. Расчет на устойчивость
   4.5. Расчет на циклическую прочность
   4.6. Расчет на сопротивление хрупкому разрушению
   4.7. Расчет на ударостойкость
   4.8. Расчет на вибропрочность
5. Экспериментальная оценка виброустойчивости и вибропрочности
6. Испытания модельных образцов и элементов натурных конструкций на циклическую прочность

---

* 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 им. акад. 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
S_R	– расчетная толщина стенки, мм
C	– суммарная прибавка к расчетной толщине стенки, мм
R_m^T	– временное сопротивление (предел прочности) при расчетной температуре T, МПа
$R_{p0,2}^T$	– предел текучести при расчетной температуре T, МПа
n_m	– коэффициент запаса прочности по пределу прочности
$n_{0,2}$	– коэффициент запаса прочности по пределу текучести
T	– расчетная температура, К
$[\sigma]$	– номинальное допускаемое напряжение, МПа
$[\sigma]_W$	– номинальное допускаемое напряжение в болтах и шпильках, МПа
K_{1C}^T	– критический коэффициент интенсивности напряжений при расчетной температуре T, МПа·м$^{1/2}$

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.

2. НОМИНАЛЬНЫЕ ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

2.1. Номинальные допускаемые напряжения при расчетной температуре T необходимо определять по временному сопротивлению и пределу текучести материала элемента.

2.2. Значение номинального допускаемого напряжения [σ] следует принимать равным:

- для элементов, отличных от болтов и шпилек,

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

где n_m = 2,6;

$n_{0,2}$ = 1,5 – для оборудования и трубопроводов, нагруженных внутренним давлением, а также изготовленных из титановых сплавов и нагруженных внутренним или наружным давлением;

$n_{0,2}$ = 2,0 – для оборудования и трубопроводов, нагруженных наружным давлением (кроме изготовленных из титановых сплавов);

- в болтах или шпильках от давления и усилий затяга

$$[\sigma]_w = R_{p0,2}^T / n_{0,2},$$

где $n_{0,2}$ = 2,0.

2.3. Значения характеристик материалов, используемые при определении номинальных допускаемых напряжений, следует принимать по данным соответствующих нормативных документов, национальных стандартов или по ТУ на соответствующий сортамент.

2.4. При отсутствии в нормативной документации характеристик материалов при расчетных температурах, а также в случае опытно-промышленного применения материалов новых марок или полуфабрикатов, изготовленных по новой технологии, расчетные значения необходимых характеристик необходимо устанавливать на основании экспериментальных исследований. Принятые значения должны быть согласованы с соответствующими материаловедческими организациями.

3. ВЫБОР ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ

3.1. При выполнении расчета по выбору основных размеров расчетными нагрузками являются расчетное давление и усилия затяга болтов и шпилек. При расчете шпилек узла уплотнения следует учитывать давление гидравлических испытаний.

3.2. Расчетную толщину стенки S_R необходимо определять без учета толщины антикоррозионного наплавленного или плакирующего защитного слоя.

3.3. Суммарную прибавку к расчетной толщине стенки элемента конструкции следует определять как $C = C_1 + C_2 + C_3$.

3.4. Прибавку C_1 следует принимать равной отрицательному допуску на толщину стенки; ее величина должна быть установлена в конструкторской документации.

3.5. Прибавка C_2 является технологической, предназначенной для компенсации возможного утонения элемента при изготовлении. Значение этой прибавки следует устанавливать проектной (конструкторской) организацией по согласованию с предприятием-изготовителем и указывать в конструкторской документации.

3.6. Прибавка C_3 учитывает коррозионное влияние рабочей среды на материал элементов конструкции в эксплуатационных условиях. Значение этой прибавки принимают по данным соответствующих нормативных документов.

3.7. Принимаемая номинальная толщина стенки S должна удовлетворять условию

$$S \geq S_R + C \cdot$$

3.8. Значение расчетной толщины стенки S_R необходимо определять из условия недопущения в конструкции предельных состояний, указанных в подпунктах а) – в) пункта 1.2.1, с учетом коэффициентов снижения прочности, вызываемого отверстиями или сварными соединениями в элементе конструкций.

3.9. Коэффициенты снижения прочности по пункту 3.8 следует определять согласно положениям соответствующих нормативных документов.

3.10. Расчет по выбору основных размеров допускается проводить с использованием программных средств.

4. ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ

4.1. Общие положения

4.1.1. Поверочный расчет на стадии проектирования необходимо проводить после выполнения расчета по выбору основных размеров.

4.1.2. Поверочный расчет следует проводить:

- по номинальным размерам – на стадии проектирования;
- *по фактическим размерам – на стадиях сооружения и эксплуатации* (при необходимости выполнения расчетов по пункту 1.1.5).

4.1.3. Поверочный расчет следует выполнять с учетом всех расчетных режимов эксплуатации.

4.1.4. При проведении расчета необходимо учитывать следующие нагрузки:

- внутреннее и (или) наружное давление;
- нагрузки от затяга болтов и шпилек;
- собственный вес изделия и его содержимого;
- дополнительные нагрузки (вес присоединенных изделий, в том числе изоляции трубопроводов, нагрузки, приводящие к деформированию при изготовлении и монтаже, и т.п.);
- усилия от реакций и перемещений опор и трубопроводов;
- температурные воздействия;
- вибрационные нагрузки;
- ударные воздействия, вызываемые столкновением судов и прочими навигационными ситуациями (посадка судна на мель, столкновение со скалами, айсбергами и т.п.).

4.1.5. Основными расчетными режимами являются:

- стационарный режим;
- пуск;
- затяг болтов и шпилек;
- функционирование системы аварийной защиты;
- изменение мощности реактора;
- остановка;
- гидравлические испытания;
- срабатывания предохранительных клапанов;
- нарушение нормальной эксплуатации;
- режим перехода с естественной на принудительную циркуляцию.

4.1.6. При поверочном расчете следует использовать физико-механические характеристики основного металла, указанные в национальных стандартах, стандартах организаций или в ТУ на материалы соответствующего сортамента.

4.1.7. При проведении поверочного расчета наплавленных или плакированных стенок напряжения в стенке и в наплавке следует определять с учетом температурных напряжений, вызванных разницей коэффициентов линейного расширения основного металла и наплавки.

4.1.8. Необходимость учета остаточных напряжений (сварочных, наплавочных, монтажных и др.) в конкретных разделах поверочного расчета устанавливается в соответствующих нормативных документах.

4.2. Порядок определения напряжений

4.2.1. Для рассматриваемого элемента конструкции оборудования и трубопровода на основе анализа условий эксплуатации, изготовления и монтажа должна быть установлена возможная последовательность чередования во времени эксплуатационных режимов работы и нагружения, включая условия испытаний, НЭ и ННЭ.

4.2.2. На основании принятой последовательности режимов работы и нагружения расчетами в упругой постановке следует определять значения главных напряжений без учета концентрации и

температурных воздействий. Для начального и конечного моментов времени значения главных напряжений должны быть равны нулю.

4.2.3. Согласно принятой последовательности режимов работы и нагружения, следует определить напряженное состояние элемента с учетом температурных воздействий и концентрации напряжений и построить графики изменения приведенных условных упругих напряжений во времени.

4.2.4. Требования к построению вышеуказанных графиков, использованию теоретических и эффективных коэффициентов концентрации напряжений, а также к формированию категорий приведенных напряжений для проверки различных критериев прочности и выделению циклов изменения условных упругих приведенных напряжений устанавливают в одобренных Федеральной службой по атомному надзору документах организаций, занимающихся проектированием и изготовлением оборудования и трубопроводов.

4.3. Расчет на статическую прочность

4.3.1. При расчете на статическую прочность необходимо учитывать расчетные нагрузки, указанные в пункте 4.1.4, кроме вибрационных и ударных нагрузок, и все эксплуатационные режимы, приведенные в пункте 4.1.5.

4.3.2. Условия обеспечения статической прочности должны ограничивать уровень напряжений, вызывающих:

- вязкое или хрупкое разрушение;
- возникновение пластического течения по всему сечению элемента конструкции;
- смятие поверхности элемента конструкции;
- срез;
- изменение формы.

4.3.3. Условия прочности устанавливают ограничением уровня соответствующих категорий напряжений относительно значений R_m^T, $R_{p0,2}^T$ или [σ].

4.3.4. Суммарный уровень напряжений, входящих в группу категорий напряжений, вызывающих возникновение однородной пластической деформации в сечении элемента конструкции под действием механических нагрузок, должен быть не более:

- [σ] при НЭ;
- 1,2 [σ] при ННЭ.

4.3.5. Суммарный уровень напряжений, входящих в группу категорий напряжений, вызывающих возникновение пластического шарнира в сечении элемента конструкции (кроме болтов и шпилек) под действием механических нагрузок, должен быть не более:

- 1,3 [σ] при НЭ;
- 1,6 [σ] при ННЭ.

4.3.6. Конкретные зависимости, используемые для проверки статической прочности различных групп категорий напряжений, устанавливаются в соответствующих нормативных документах.

4.4. Расчет на устойчивость

4.4.1. Расчет на устойчивость выполняют применительно к статическому нагружению элементов конструкций оборудования и трубопроводов. При ударном нагружении следует руководствоваться требованиями раздела 4.7.

4.4.2. Проверку на устойчивость следует выполнять для элементов сосудов (обечаек, выпуклых днищ) при совместном или раздельном действии наружного давления, превышающего внутреннее, и сжимающих усилий.

4.4.3. По условиям прочности следует определять допускаемые значения наружного давления и сжимающих усилий.

4.4.4. Методики расчета и условия прочности устанавливают в соответствующих нормативных документах.

4.5. Расчет на циклическую прочность

4.5.1. Определение допускаемого числа циклов по заданным амплитудам напряжений или допускаемых амплитуд напряжений для заданного числа циклов следует проводить:

1) по расчетным кривым усталости, характеризующим в пределах их применения зависимость между допускаемыми амплитудами условных упругих напряжений и допускаемыми числами циклов;

2) по уравнениям, связывающим допускаемые амплитуды условных упругих напряжений и допускаемые числа циклов.

4.5.2. В расчете необходимо учитывать влияние на циклическую прочность характеристик материала (включая сварные соединения), асимметрии цикла условных упругих приведенных напряжений (в том числе вызванной действием остаточных напряжений), температуры, флюенса нейтронов, воздействия теплоносителя.

При расчете деталей из титановых сплавов следует принимать во внимание влияние эффектов ползучести.

4.5.3. Условие прочности при наличии различных циклических нагрузок должно определяться накоплением усталостного повреждения вплоть до допускаемого значения.

4.5.4. В тех случаях, когда низкочастотные циклические напряжения, вызываемые пуском, остановом, изменением мощности, функционированием аварийной защиты или другими режимами, сопровождаются наложением высокочастотных напряжений, например, вызванных вибрацией, пульсацией температур при перемешивании потоков теплоносителя с различной температурой, расчет на циклическую прочность следует проводить с учетом многочастотного характера нагружения.

4.5.5. Допускается оценивать циклическую прочность на основе кривых усталости, полученных экспериментальным путем для рассматриваемых условий нагружения и состояния металла конструкции, или по результатам испытаний натурных элементов или их моделей, спроектированных и изготовленных в соответствии с требованиями, предъявляемыми к штатным конструкциям.

4.5.6. Методики расчета циклической прочности, а также расчетно-экспериментального определения кривых усталости, должны устанавливаться в одобренных Федеральной службой по атомному надзору документах организаций, занимающихся проектированием и изготовлением оборудования и трубопроводов.

4.6. Расчет на сопротивление хрупкому разрушению

4.6.1. Расчет на сопротивление хрупкому разрушению следует проводить для всех режимов НЭ, ННЭ и гидравлических испытаний.

4.6.2. Анализу подлежат зоны, в которых можно ожидать наибольшие значения коэффициентов интенсивности напряжений K_I для расчетного дефекта, или наименьшие значения вязкости разрушения K_{IC}, или наименьшее отношение K_{IC}/K_I.

4.6.3. При расчете элементов, изготовленных из титановых сплавов, следует учитывать вязкий характер их разрушения, а в качестве характеристик прочности использовать $R^T_{p0,2}$ и величину критического раскрытия трещины сплава.

4.6.4. Выбор расчетного дефекта, расчетных характеристик вязкости разрушения, критической температуры хрупкости, значений величин остаточных напряжений и последующий анализ прочности следует проводить согласно положениям одобренных Федеральной службой по атомному надзору документов организаций, занимающихся проектированием и изготовлением оборудования и трубопроводов.

4.6.5. Расчет на сопротивление хрупкому разрушению допускается не проводить для элементов конструкций, не подвергающихся облучению (или подвергающихся облучению при температурах 523 – 623 К до флюенса не более 10^{22} н/м^2 при энергии нейтронов ≥ 0,5 МэВ), в следующих случаях:

1) материалы элементов конструкций (включая сварные соединения) имеют предел текучести при температуре 293 К менее 300 МПа, а толщина стенки элемента конструкции составляет не более 25 мм;
2) материалы элементов конструкций (включая сварные соединения) имеют предел текучести при температуре 293 К менее 600 МПа, а толщина стенки элемента конструкции составляет не более 16 мм;
3) толщина стенки рассматриваемого элемента конструкции удовлетворяет условию:

$$S \le 1{,}6 \cdot 10^3 \left(\frac{K^T_{IC}}{R^T_{p0,2}} \right)^2 \text{ мм}$$

при K^T_{IC} в МПа$\cdot\sqrt{\text{м}}$ и $R^T_{p0,2}$ в МПа (значения обеих характеристик следует принимать при наименьшей температуре эксплуатации и состоянии, соответствующем концу эксплуатации).

4.7. Расчет на ударостойкость

4.7.1. В основу расчета на ударостойкость положено требование надежной эксплуатации оборудования и трубопроводов ППУ в условиях воздействия ударных нагрузок, указанных в пункте 4.1.4. Конкретные параметры ударных нагрузок определяются проектом ППУ и (или) техническим заданием на выполнение расчета на прочность.

4.7.2. Проверку ударостойкости следует выполнять по допускаемым напряжениям и допускаемым перемещениям.

4.7.3. При определении допускаемых напряжений следует учитывать:

- влияние на динамический предел текучести скорости деформации и расчетной температуры,
- допустимость ограниченной пластической деформации в наиболее нагруженных участках элемента при кратковременном внешнем воздействии;
- повышенную склонность материалов к хрупкому разрушению

4.7.4. Допускаемое перемещение следует устанавливать из условий невозможности соударений рассчитываемого оборудования и трубопроводов с соседними или с корпусными конструкциями, или недопустимых повреждений.

4.7.5. Расчет следует проводить для режимов НЭ.

4.7.6. В расчете напряжения от эксплуатационных нагрузок следует суммировать с динамическими только тогда, когда они превышают последние более чем на 10% (в противном случае они могут не учитываться).

4.7.7. Определение допускаемых напряжений, перемещений и последующий анализ прочности оборудования и трубопроводов следует проводить согласно соответствующим нормативным документам.

4.8. Расчет на вибропрочность

4.8.1. Оценку вибропрочности оборудования и трубопроводов следует производить для вибрационных нагрузок, вызванных вращением гребного вала судна, а также других источников вынужденных колебаний, если они имеются.

4.8.2. Основные требования вибропрочности должны обеспечивать отсутствие резонанса с вибрационными нагрузками, действующими на оборудование и трубопроводы в диапазоне частот, соответствующем указанному в проекте.

4.8.3. В случаях, когда не удается обеспечить отсутствие резонанса, допускается не выполнять требования пункта 4.8.2 при условии обязательного подтверждения вибропрочности экспериментальным или расчетным путем, а также по результатам анализа вибраций, зарегистрированных в процессе пусконаладочных работ и (или) на эксплуатируемой установке.

4.8.4. Расчет вибропрочности оборудования и трубопроводов следует проводить по методикам, приведенным в соответствующих нормативных документах.

4.8.5. Общие требования к экспериментальной оценке вибропрочности приведены в разделе 5.

4.8.6. Расчетную оценку вибропрочности рекомендуется выполнять с учетом требований пункта 4.5.4.

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ И ВИБРОПРОЧНОСТИ

5.1. Испытания по обнаружению резонансов следует проводить в указанных в пункте 4.8.3 случаях с целью выявления собственных частот колебаний оборудования и трубопроводов в установленном проектом и (или) техническим заданием на выполнение расчета на прочность диапазоне частот.

5.2. Испытания на виброустойчивость необходимо проводить для проверки способности оборудования и трубопроводов выполнять свои функции и сохранять параметры во время воздействия вибрации в пределах, указанных проектом и (или) техническим заданием на выполнение расчета на прочность.

5.3. Испытания на вибропрочность проводят для проверки способности оборудования и трубопроводов противостоять разрушающему действию вибрации, выполнять свои функции и сохранять параметры после воздействия вибрации в пределах, указанных проектом.

5.4. Методики испытаний по пунктам 5.1 – 5.3, включая требования к подготовке оборудования к испытаниям, порядку проведения испытаний и оценки их результатов, устанавливают в соответствующих нормативных документах.

6. ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ И ЭЛЕМЕНТОВ НАТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

6.1. Устанавливаемые в испытаниях характеристики циклической прочности следует использовать:

- для обоснования циклической прочности элементов конструкций оборудования и трубопроводов с определением коэффициентов запаса по амплитудам условных упругих напряжений и по числу циклов;
- для определения эффективных коэффициентов концентрации при циклических нагрузках.

6.2. Требования к конструкции, материалам, технологии изготовления, контролю модельных образцов и элементов натурных конструкций для испытаний, а также к условиям, порядку проведения испытаний и к методикам определения эффективных коэффициентов концентрации напряжений устанавливают в соответствующих нормативных документах.

gost.e-ecolog.ru