ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59115.20— 2023

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Рекомендации по применению результатов теплогидравлических расчетов в расчетах на прочность

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежаля» (АО «НИКИЭТ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 322 «Атомная техника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 4 августа 2023 г. № 612-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии не несет ответственности за патентную чистоту настоящего стандарта. Патентообладатель может заявить о своих правах и направить в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии аргументированное предложение о внесении в настоящий стандарт поправки для указания информации о наличии в стандарте объектов патентного права и патентообладателе

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения, сокращения и обозначения 2
4 Общие положения 2
5 Рекомендации по использованию результатов теплогидравлических расчетов и расчетов температур в расчете на прочность 3
Библиография 11

Введение

Настоящий стандарт взаимосвязан с другими стандартами, входящими в комплекс стандартов, регламентирующих обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Рекомендации по применению результатов теплогидравлических расчетов в расчетах на прочность

Rules for strength assessment of equipment and pipelines of nuclear power installations. Recommendations for applying the results of thermal-hydraulic analysis in strength analysis

Дата введения — 2023—10—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает рекомендации по применению результатов теплогидравлических расчетов и (или) расчетов температур в расчетах на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, на которые распространяется действие федеральных норм и правил в области использования атомной энергии [1].

1.2 Настоящий стандарт не распространяется на расчеты при запроектных авариях и случаи, когда исходные данные для расчетов на прочность задаются без непосредственного использования результатов теплогидравлических расчетов и (или) расчетов температурных полей рассматриваемого оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 59115.1 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Термины и определения

ГОСТ Р 59115.7 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Прибавки к толщине стенки на сплошную коррозию

ГОСТ Р 59115.8 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Расчет по выбору основных размеров

ГОСТ Р 59115.9—2021 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Поверочный расчет на прочность

ГОСТ Р 59115.18 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Расчет на прочность при гидравлических ударах

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

Издание официальное

3 Термины, определения, сокращения и обозначения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 59115.1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **исходные данные:** Параметры (значения величин), определяемые в результате теплогидравлических расчетов и (или) расчетов температурных полей и задаваемые в расчетах на прочность как граничные условия и (или) нагрузки либо используемые для определения прибавки на коррозию и (или) параметров вибраций, а также в определении физико-механических свойств материалов.

3.1.2 **расчет в запас прочности:** Расчет на прочность, в котором граничные условия, температуры и нагрузки задаются значениями, приводящими к завышенным значениям оцениваемых по критериям прочности величин, например напряжений.

3.1.3 **реверсивная нагрузка:** Нагрузка на элемент (компонент), описываемая функцией, характеризующейся колебаниями значения относительно среднего значения или монотонно изменяющейся во времени составляющей значения указанной функции (например, землетрясение, наложенное на стационарный эксплуатационный режим).

3.1.4 **нереверсивная нагрузка:** Нагрузка на элемент (компонент), характеризующаяся монотонно изменяющимся во времени значением нагрузки и возможным наличием пульсаций, затухающих во времени.

3.1.5 **уровень амплитуды колебаний [пульсаций], %:** Значение отношения амплитуды пульсаций нагрузки, действующей на элемент (компонент), к монотонно изменяющейся составляющей нагрузки.

Примечание — См. рисунок 5.2.

3.1.6 **пороговый уровень амплитуды колебаний [пульсаций]:** Значение уровня амплитуды колебаний (пульсаций), при превышении которого рекомендуется учитывать колебания (пульсации) нагрузки в расчете на прочность.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

КИН — коэффициент интенсивности напряжений;

МКЭ — метод конечных элементов;

НДС — напряженно-деформированное состояние;

НУЭ — нормальные условия эксплуатации.

3.3 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

K_I — коэффициент интенсивности напряжений, МПа · м$^{1/2}$;

K_{Ic} — критический коэффициент интенсивности напряжений, МПа · м$^{1/2}$;

P — давление, МПа;

$\langle T \rangle$ — средняя температура по сечению, °С (К);

T — температура, °С (К);

t — время, с (ч);

$(\sigma)_1$, $(\sigma)_2$ — группы приведенных напряжений в компонентах, МПа;

$(\sigma)_R$ — размах приведенных напряжений в компонентах, МПа;

(σ_F) — условное упругое приведенное напряжение расчетного цикла, МПа;

(σ_L) — местные приведенные напряжения с учетом концентрации, МПа.

4 Общие положения

4.1 Стандарт устанавливает рекомендации по применению следующих результатов теплогидравлических расчетов и (или) расчетов температур в качестве исходных данных к расчетам на прочность:

- распределение температур по элементу (компоненту) либо средняя температура по толщине стенки и перепад температур по толщине стенки в стационарных и переходных режимах без учета пульсаций температур;
- значения амплитуд пульсации температур;
- температура и тип среды (вода, натрий, газ) и фазовый состав рабочей среды (жидкость, пар);
- скорость рабочей среды и содержание фаз в рабочей среде;
- значения гидростатического и гидродинамического давления;
- значения гидростатических и гидродинамических сил;
- значения амплитуды пульсации (колебаний) давления;
- распределение давления по границе элемента (компонента).

4.2 Основная цель расчета распределения температур применительно к исходным данным для расчета на прочность — получение распределения температуры по всему объему компонента или в рассматриваемой области компонента. Для выполнения расчета в запас прочности в качестве исходных данных допускается принимать максимальное значение температуры (минимальное значение при расчетах на сопротивление разрушению) и максимальный перепад температуры по элементу (компоненту) в рассматриваемом режиме.

4.3 При расчетах на прочность компонентов в виде тонких оболочек и пластин допускается использовать линеаризованные значения распределения температур по толщине стенки в виде комбинации средней температуры по толщине и линейного перепада по толщине стенки.

4.4 При выполнении расчетов в запас прочности допускается использование результатов теплогидравлического расчета в виде упрощенных зависимостей и дающих заведомо консервативный результат с точки зрения прочности.

4.5 Для снижения консерватизма исходных данных для прочностного расчета рекомендуется повышать детализацию результатов теплогидравлического расчета и расчета распределения температур, используемых для моделирования температурных граничных условий и нагрузок, прикладываемых к расчетным моделям, используемым в расчетах прочности.

4.6 Для выполнения расчета на прочность в статической (квазистатической) постановке по результатам выполнения теплогидравлического расчета и (или) расчета температурных полей рекомендуется определять давление рабочей среды на границе рассчитываемого компонента, распределение температур по компоненту, а также значения гидростатических и гидродинамических сил, возникающих в компонентах в стационарном режиме нагружения или в выбранный момент времени переходного режима нагружения.

4.7 В расчете на прочность в нелинейной постановке рекомендуется учитывать зависимость результата расчета от истории приложения нагрузок и истории изменения распределения температур.

4.8 Исходные данные, полученные в результате проведения теплогидравлического расчета и расчета температурных полей, могут использоваться в расчетах, указанных в ГОСТ Р 59115.8 и ГОСТ Р 59115.9.

5 Рекомендации по использованию результатов теплогидравлических расчетов и расчетов температур в расчете на прочность

5.1 Рекомендации по моделированию

5.1.1 После получения распределения температур, с учетом результатов теплогидравлического расчета, поля переносятся в расчетную модель для поверочного расчета на прочность в виде исходных данных.

5.1.2 Расчет температурных полей аналитическими методами рекомендуется выполнять только для тел простой формы. В ином случае рекомендуется использовать численные методы.

5.1.3 В расчетных моделях допускаются упрощения и аппроксимации, не влияющие на определение оцениваемых категорий напряжений и (или) групп категорий напряжений. При построении расчетных моделей на основе твердотельных трехмерных моделей, используемых при конструировании, рекомендуется в расчетную модель не включать детали конструкции, не влияющие на определение оцениваемых категорий напряжений и (или) групп категорий напряжений, например фаски, резьбы, проточки, отверстия малого диаметра.

5.1.4 При использовании численных методов рекомендуется исследовать сходимость решения.

5.1.5 При использовании в расчете МКЭ степень дискретизации сетки конечных элементов рекомендуется выбирать в зависимости от вида используемых конечных элементов и закона распределения температуры и напряжений в компоненте.

5.1.6 При расчете однослойной конструкции с линейным законом распределения температуры, в расчете рекомендуется использование не менее трех конечных элементов с линейной функцией формы по толщине.

5.1.7 Рекомендуется при расчете температур включать в модель все элементы (компоненты), необходимые для расчета прочности. Допускается разбивать модель на подмодели, если это не влияет на результаты расчета в принятой постановке.

5.1.8 Для упрощения решения некоторые части используемой модели могут быть разбиты на участки, в пределах которых определяемые значения величин можно считать постоянными.

5.1.9 В зонах концентраторов, резких изменений геометрии компонента, в зонах с высоким градиентом температур при использовании МКЭ рекомендуется выполнять сгущение расчетной сетки.

5.1.10 При использовании МКЭ для уменьшения влияния численной аппроксимации исходных данных при переносе полей температур рекомендуется проводить расчеты температур и НДС компонентов на одной сетке конечных элементов.

5.2 Виды нагрузок

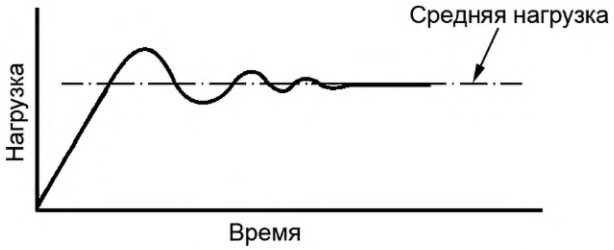
5.2.1 Расчетные динамические нагрузки, полученные в результате теплогидравлического расчета, такие как гидростатические и гидродинамические силы или давление, рекомендуется классифицировать в зависимости от наличия или отсутствия монотонно изменяющейся нагрузки и циклически изменяющейся нагрузки на реверсивные и нереверсивные. Иллюстрации, поясняющие классификацию нагрузок, приведены на рисунке 5.1.



а) Нереверсивная динамическая нагрузка (например, открытие клапана)



б) Реверсивная динамическая нагрузка (например, землетрясение, наложенное на стационарный эксплуатационный режим)



в) Нереверсивная динамическая нагрузка

Рисунок 5.1 — Графики изменения динамической нагрузки

5.2.2 При значениях уровня амплитуд колебаний (пульсаций) нагрузки ниже порогового уровня амплитуды колебаний, нагрузку рекомендуется задавать как монотонно изменяющуюся функцию от времени.

5.2.3 В поверочном расчете на прочность[1)] рекомендуется значения давления и температуры для переходных процессов задавать как монотонно изменяющуюся функцию от времени [без учета пульсаций (колебаний)], если принятые в расчете на прочность значения уровня колебаний давления и (или) температуры не отличаются от значений, полученных в результате теплогидравлического расчета и (или) расчета температурных полей более чем на пороговый уровень амплитуды колебаний (пульсаций). Для представленного на рисунке 5.2 случая максимальное из значений отношений амплитуд колебаний (Δ_1—Δ_{13}) к соответствующим по времени значениям для поверочного расчета на прочность не превышают пороговый уровень амплитуды колебаний (пульсаций).



Рисунок 5.2 — График изменения давления и температуры для одного режима

5.2.4 Рекомендуется в поверочном расчете на прочность (за исключением расчета на вибропрочность) задавать значения давления и температуры как монотонно изменяющуюся функцию от времени и объединять в один режим полученные в результате теплогидравлического расчета и (или) расчета температурных полей результаты для нескольких режимов, в случае, если принятые в расчете на прочность значения давления и (или) температуры не отличаются от значений, полученных в результате теплогидравлического расчета и (или) расчета температурных полей более чем на пороговый уровень амплитуды колебаний (пульсаций). Для представленного на рисунке 5.3 случая максимальное из значений отношений амплитуд колебаний к соответствующему по времени значению для поверочного расчета на прочность не превышает пороговый уровень колебаний (пульсаций).

5.2.5 Значение порогового уровня амплитуды колебаний (пульсаций) при расчетах на прочность рекомендуется принимать равным 5 %. Допускается использовать другое значение порогового уровня пульсаций при обосновании консерватизма расчета.

[1)] За исключением расчета на вибропрочность. Рекомендации по расчетам на вибропрочность приведены в 5.7.

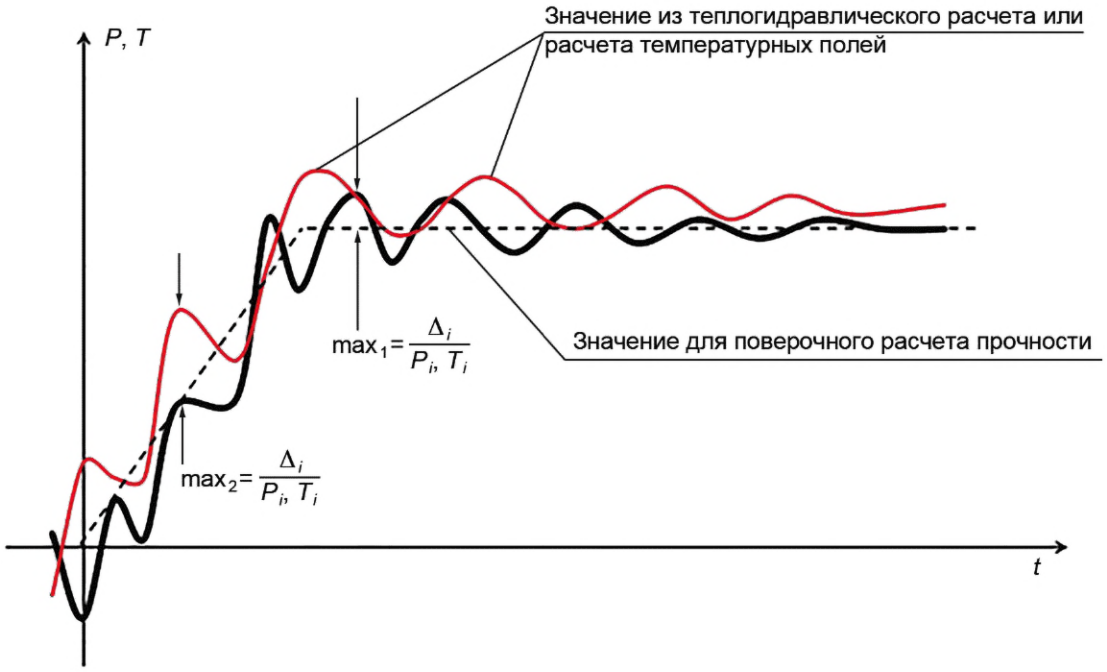


Рисунок 5.3 — Графики изменения давления и температуры при объединении режимов

5.3 Расчет по выбору основных размеров

5.3.1 Определение расчетной толщины стенки компонента проводят в соответствии с ГОСТ Р 59115.8 с учетом действующего на компонент расчетного давления[1)].

5.3.2 Для определения расчетного давления и расчетной температуры допускается использовать результаты как теплогидравлических расчетов и (или) расчетов температур оборудования или трубопровода в целом, так и отдельных расчетов компонентов рассматриваемого оборудования или трубопровода.

5.3.3 Расчетная температура[1)] оборудования или трубопровода определяется из расчета температурных полей как температура стенки, равная максимальному среднеарифметическому значению температур на его наружной и внутренней поверхностях в одном сечении при нормальной эксплуатации. Для частей корпусов реакторов расчетная температура определяется с учетом внутренних тепловыделений как среднеинтегральное значение распределения температур по толщине стенки корпуса.

5.3.4 Расчетное давление, используемое при расчете на прочность по выбору основных размеров и определяемое из теплогидравлического расчета, рекомендуется определять как максимальное избыточное давление в рассматриваемом оборудовании или трубопроводе при всех рассматриваемых в расчетах режимах НУЭ для данного оборудования или трубопровода. Расчетная температура при этом принимается в соответствии с 5.3.3.

5.3.5 Давление для выполнения расчета по выбору основных размеров страховочных корпусов рекомендуется определять как максимальное избыточное давление, возникающее при разгерметизации защищаемого оборудования или трубопроводов с учетом нереверсивных нагрузок и реверсивных нагрузок. Расчетная температура при этом принимается в соответствии с 5.3.3.

5.3.6 В случаях, когда при эксплуатации компонента оборудования или трубопровода имеют место два или более режимов НУЭ, включая переходные, отличающиеся по давлению, средней температуре по сечению $\langle T \rangle$ и (или) длительности, рекомендуется расчетом по выбору основных размеров определить расчетную толщину стенки как максимальное значение среди всех сочетаний давления и температуры во всех рассмотренных режимах, включая переходные, с учетом реверсивных нагрузок.

[1)] Определение термина установлено в [1], приложение № 1.

5.3.7 Для расчета трубных досок или других компонентов, нагруженных давлением с обеих сторон стенки компонента, по результатам теплогидравлического расчета рекомендуется использовать максимальное избыточное давление из всех режимов НУЭ, определяемое как разность давлений на внутренней и наружной стороне стенки компонента.

5.3.8 При определении прибавки к толщине стенки на сплошную коррозию (c_2) по ГОСТ Р 59115.7 в качестве исходных данных по результатам теплогидравлических расчетов рекомендуется использовать температуру и фазовый состав среды.

5.3.9 Номинальные допускаемые напряжения компонента в соответствии с ГОСТ Р 59115.9 принимают при расчетной температуре оборудования или трубопровода, определенной по результатам теплогидравлических и (или) расчетов температур в соответствии с 5.3.3, или по средней температуре по сечению $\langle T \rangle$ в соответствии с 5.3.6.

5.4 Расчет на статическую, длительную статическую прочность и устойчивость

5.4.1 Расчет на статическую прочность выполняется для всех стационарных и переходных режимов в соответствии с ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 8).

5.4.2 В расчетах на статическую прочность из результатов теплогидравлических расчетов и (или) расчетов температур рекомендуется использовать давление и распределение температуры по компоненту.

5.4.3 Нагрузки от внешних динамических воздействий и вибрационные нагрузки в расчете на статическую прочность рекомендуется не учитывать.

5.4.4 Допускается объединять режимы, если нагрузки и температуры в объединяемых режимах отличаются от принимаемых в расчете на статическую прочность не более чем на пороговый уровень амплитуды колебаний (пульсаций).

5.4.5 Для рассматриваемого компонента допускается заменять расчеты расчетных режимов расчетом режима, нагрузки и температуры, в котором приводят к заведомо более высоким значениям расчетных напряжений.

5.4.6 При использовании результатов теплогидравлических расчетов номинальные допускаемые напряжения для компонента рекомендуется определять при значении температуры, равном среднему значению температуры по сечению компонента, без учета колебаний (пульсаций) температур, если значения уровня амплитуды колебания (пульсаций) отличаются от принимаемых в расчете на статическую прочность не более чем на пороговый уровень амплитуды колебаний (пульсаций).

5.4.7 При расчете компонента на статическую прочность в стационарном режиме (стационарном состоянии) расчет рекомендуется проводить с учетом всех действующих нагрузок (неизменных за режим), при номинальных допускаемых напряжениях, принятых при температуре, равной среднему значению температуры по сечению компонента и также неизменной за режим.

5.4.8 При расчете компонента на статическую прочность в переходном режиме расчет рекомендуется проводить в выбранные (характерные) моменты времени, между началом и окончанием режима, соответствующие максимальным значениям напряжений и (или) минимальному значению допускаемых напряжений. Расчет компонента на статическую прочность в выбранный момент времени переходного режима рекомендуется проводить с учетом всех действующих нагрузок в выбранный момент времени, при номинальных допускаемых напряжениях, принятых при температуре, равной среднему значению температуры по сечению компонента в выбранный момент времени.

5.4.9 Для оценки статической прочности по группам категорий напряжений $(\sigma)_1$, $(\sigma)_2$ в переходных режимах расчет рекомендуется проводить в моменты времени, соответствующие максимальному значению давления и других механических нагрузок за режим. При определении номинальных допускаемых напряжений распределение температур рекомендуется принимать в моменты времени, соответствующие максимальному значению давления и других механических нагрузок.

5.4.10 Для оценки статической прочности в переходных режимах по группе категорий напряжений $(\sigma)_R$ рекомендуется проводить расчет в моменты времени, в которые значения давления и механических нагрузок и соответствующее распределение температур приводят к максимальному расчетному значению напряжений $(\sigma)_R$.

5.4.11 В случае если величина уровня амплитуды пульсаций превышает пороговый уровень пульсации, для расчета на статическую прочность рекомендуется использовать полученную в теплогидравлическом расчете максимальную величину давления с учетом пульсаций (суммарное значение нереверсивной нагрузки и амплитуды пульсаций). В случае если величина уровня пульсаций не превышает пороговый уровень пульсации, в расчете учитывается только нереверсивная составляющая давления.

5.4.12 В переходных режимах для оценки статической прочности по группам категорий напряжений $(\sigma)_1$, $(\sigma)_2$ допускается в запас прочности ввести расчет в моменты времени, соответствующие максимальному значению давления и других механических нагрузок за режим при минимальных значениях номинальных допускаемых напряжений за режим.

5.4.13 Для расчета на статическую прочность в запас прочности по группе категорий напряжений $(\sigma)_R$ допускается использовать полученное в теплогидравлическом расчете максимальное значение средней температуры, перепада температур по толщине стенки и давления. Допускается выполнять расчет при сочетании значений нагрузок и значений номинальных допускаемых напряжений, приводящих к минимальному запасу по напряжениям за режим относительно номинальных допускаемых напряжений.

5.4.14 При расчете на длительную статическую прочность, выполняемом в соответствии с ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 14), исходные данные для расчета на прочность, полученные из теплогидравлических расчетов, рекомендуется использовать по правилам, изложенным в 5.4.1—5.4.13, аналогично расчетам на статическую прочность, с учетом длительности нагружения в условиях ползучести.

5.4.15 При выполнении расчета на устойчивость в соответствии с ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 9) рекомендуется по результатам теплогидравлического расчета для режимов нагружения (стационарных и переходных), в которых возникают сжимающие нагрузки, определять значения давления и температуры с учетом колебаний (пульсаций), если уровень амплитуды таких колебаний (пульсаций) превышает пороговый уровень.

5.5 Расчет на циклическую и длительную циклическую прочность, прогрессирующее изменение формы и размеров

5.5.1 Расчет на циклическую прочность проводят в соответствии с ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 10) с учетом всех стационарных и переходных режимов.

5.5.2 Допускается объединять режимы в один, если разница в уровнях нагрузки в объединяемых режимах не превышает пороговый уровень пульсаций и не вызывает значимые в соответствии с 5.5.9 вибронапряжения.

5.5.3 Допускается заменять расчеты расчетных режимов расчетом режима, нагрузки и температуры, который приводит к заведомо более высоким значениям амплитуд расчетных напряжений и большему значению усталостного повреждения.

5.5.4 Расчет на циклическую прочность рекомендуется проводить по истории изменения местных условных упругих приведенных напряжений (σ_F), определяемой на основе истории изменения местных приведенных напряжений (σ_L), с учетом поправки на неупругое деформирование материала.

5.5.5 Графики изменения напряжений (σ_F) рекомендуется строить путем последовательной обработки точек графиков (σ_L) для моментов времени t_1, t_2, …, t_l, …, t_m.

5.5.6 Для определения истории изменения (σ_L) в качестве исходных данных рекомендуется использовать результаты теплогидравлических расчетов в части изменения во времени давления и распределения температуры.

5.5.7 При монотонно изменяющихся давлении и температуре в рассматриваемых точках компонента на рассматриваемом отрезке времени при построении истории нагружения допускается использовать значения напряжений или деформаций, принятые в начале и конце рассматриваемого временного интервала.

5.5.8 При построении истории нагружения расчетные моменты времени рекомендуется выбирать таким образом, чтобы нагрузки и воздействия (включая температурные) на компонент достигали своих экстремальных значений. Допускается в качестве расчетных моментов времени выбирать моменты времени, в которые давление и (или) температура или градиент температуры принимают экстремальные значения.

5.5.9 При определении напряжений допускается учитывать только нереверсивные нагрузки, если изменение значений нагрузки около среднего значения вызывает повторяющиеся напряжения с амплитудой $\langle\sigma_a\rangle$, МПа, и числом циклов N и выполнены условия:

$$10^7 \le N \le 10^{12}; \frac{\langle\sigma_a\rangle}{[\sigma_{aF}]} \le 0{,}5, \qquad (1)$$

где $[\sigma_{aF}]$ — допускаемая амплитуда при числе циклов N, МПа.

5.5.10 Для консервативного расчета на циклическую прочность, при определении температур и нагрузок, полученных из теплогидравлического расчета, рекомендуется использовать значения температуры и давления с учетом пульсаций (суммарное значение монотонной нагрузки и амплитуды пульсаций), позволяющих получить максимальное значение амплитуд напряжений и повреждаемости.

5.5.11 При построении истории нагружения в расчетах на длительную циклическую прочность [ГОСТ Р 59115—2021 (раздел 11)] и при расчете на прогрессирующее изменение формы и размеров [ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 13)] рекомендуется использовать те же рекомендации в отношении применения результатов теплогидравлических расчетов, что и для расчетов на циклическую прочность.

5.6 Расчет на сопротивление разрушению

5.6.1 Расчет на сопротивление разрушению компонента с постулируемой трещиной проводят на основе сопоставления расчетной характеристики разрушения с допускаемым значением в соответствии с ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 9).

5.6.2 Рекомендуется анализировать зоны, где можно ожидать наибольших значений коэффициентов интенсивности напряжений $K_{I,}$ или наименьших значений вязкости разрушения K_{Ic}, или наименьшего отношения K_{Ic}/K_{I}.

5.6.3 Все нагрузки рекомендуется рассматривать как квазистатические, соответствующие или стационарному режиму (состоянию) или выбранному (характерному) моменту времени в переходном режиме.

5.6.4 На каждом из режимов эксплуатации для различных моментов времени рекомендуется определять распределение температур и напряжений по толщине стенки оборудования или трубопроводов в анализируемой зоне.

5.6.5 При определении КИН рекомендуется принимать значения давления и температур в рассматриваемой точке элемента (компонента) с учетом пульсации давления и температуры среды, если амплитуда пульсаций превышает пороговый уровень пульсаций.

5.7 Расчет на вибропрочность

5.7.1 При оценке вибропрочности по ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 16) компонентов, подвергающихся вибрационному нагружению с использованием результатов теплогидравлических расчетов, рекомендуется из теплогидравлического расчета определять параметры движения среды, приводящие к возникновению вибраций, в соответствии с 5.7.2—5.7.4.

5.7.2 Теплогидравлическим расчетом рекомендуется определять параметры течения (движения) среды, приводящие к возникновению вибронапряжений. Для анализа возможных причин возникновения вибраций рекомендуется определять режим течения среды: однофазный или двухфазный поток. Основными режимами течения двухфазной среды, влияющими на вибрацию теплообменных труб, являются: пузырьковый, снарядный, дисперсно-кольцевой.

5.7.3 При продольном обтекании и течении внутри теплообменных труб рекомендуется рассматривать возникновение вибронагрузок (вибронапряжений) вследствие[1)]:

- гидроупругой неустойчивости (осредненная плотность среды, осредненная скорость движения среды, скорость потока);
- параметрического резонанса вследствие пульсаций скорости и давления в потоке (давление и скорость потока, амплитуда пульсации давления и скорости потока);
- параметрического резонанса вследствие пульсаций плотности потока (давление и скорость потока, амплитуда пульсации плотности потока);
- вынужденных колебаний под действием турбулентных пульсаций (скорость потока, число Рейнольдса);
- вынужденных колебаний в двухфазном потоке (поперечная составляющая скорости при вихревом течении).

5.7.4 При поперечном обтекании теплообменных труб рекомендуется рассматривать возникновение вибронагрузок вследствие:

- турбулентных пульсаций давления потока (скорость потока в сечении, интенсивность пульсации скорости потока, число Рейнольдса, число Струхаля);

[1)] В скобках указаны данные для определения параметров вибраций, получаемые из гидравлического расчета.

- гидродинамических сил, обусловленных отрывом вихрей (число Струхаля, число Рейнольдса, осредненная плотность среды);
- гидроупругого взаимодействия с потоком (скорость потока, критическая скорость потока);
- акустического резонанса (собственная частота поперечного столба пара, число Струхаля).

5.7.5 В результате теплогидравлического расчета для определения вибронагрузок (вибронапряжений) в общем случае рекомендуется определять частоту и амплитуду колебаний давления и (или) нагрузок от него, скорости среды при обтекании.

5.8 Расчет при действии динамических воздействий

5.8.1 Расчет на прочность от действия динамических нагрузок допускается проводить в статической постановке, линейно-спектральным методом и методами прямого динамического анализа. Выбор метода расчета зависит от вида нагрузки и динамических характеристик системы.

5.8.2 При определении исходных данных для выполнения расчета на прочность от действия динамических нагрузок, связанных с гидравлическими ударами, рассматриваемыми в соответствии с ГОСТ Р 59115.18, дополнительно к данным по 4.1 рекомендуется определять из теплогидравлического расчета скорость потока и значение изменений давления при волновых процессах во времени.

5.8.3 При расчете на динамические воздействия сосудов, заполненных жидкостью со свободной поверхностью, либо компонентов, погруженных в жидкость, рекомендуется учитывать изменение давления со стороны жидкости во времени.

5.8.4 При расчете в запас прочности статическим методом допускается использовать значение амплитуды динамического воздействия, соответствующего частоте колебаний конструкции, на которой реализуется максимальная эффективная масса конструкции, при обосновании консервативности, либо максимальное значение амплитуды динамического воздействия.

Библиография

[1] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-089-15 Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок

УДК 621.039:531:006.354 ОКС 27.120.20

Ключевые слова: прочность, оборудование, трубопроводы, теплогидравлический расчет, поверочный расчет

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *С.И. Фирсова*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 07.08.2023. Подписано в печать 15.08.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,68.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru